GAZOGÈNES

ET

MOTEURS A GAZ PAUVRE

A LA PORTÉE DE TOUS

OUVRAGES DE M. RENÉ CHAMPLY

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

Comment on devient Tourneur sur métaux. 9e édition .	**10 »**
Comment on devient Forgeron. 3e édition	**13 50**
Guide pratique du chauffeur d'automobile. 9e édition .	**15 »**
Le moteur d'automobiles (théorie et pratique)	**2 50**
L'Electricité à la campagne. 2e édition	**13 50**
Nouvelle encyclopédie pratique du Bâtiment et de l'Habitation, en 15 volumes ; l'un	**3 50**
Manuel pratique du Moteur agricole.	**6 »**

Pour paraître :

Comment on devient monteur électricien.

La Force Motrice et l'Eau à la Campagne. 2e édition.

GAZOGÈNES

ET

MOTEURS A GAZ PAUVRE

A LA PORTÉE DE TOUS

THÉORIE ET PRATIQUE DU GAZ PAUVRE

INSTALLATION ET CONDUITE DES GAZOGÈNES ET DES MOTEURS

PAR

RENÉ CHAMPLY

INGÉNIEUR-MÉCANICIEN

2e Édition revue et augmentée

avec 90 gravures

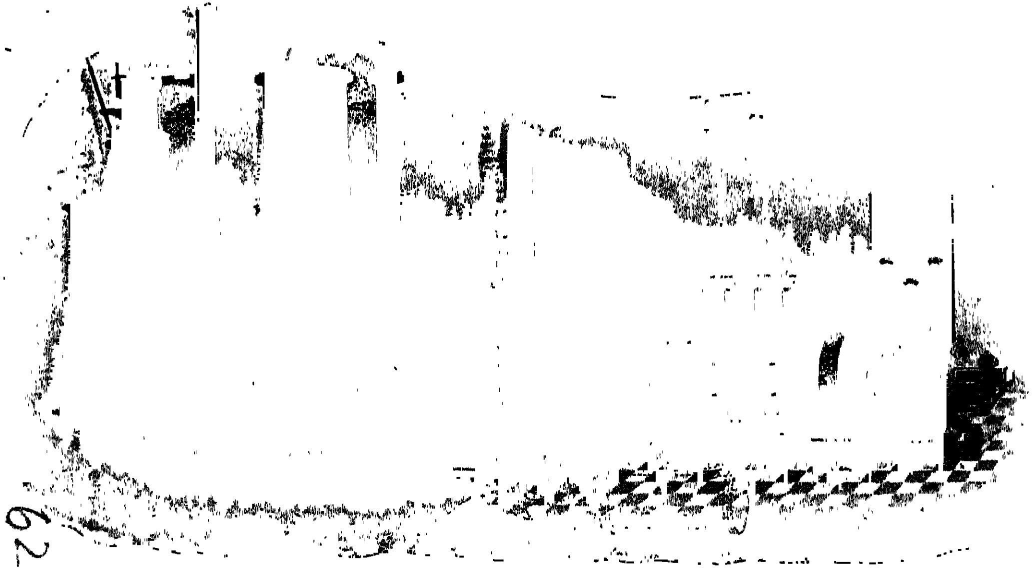
PARIS

LIBRAIRIE GÉNÉRALE SCIENTIFIQUE & INDUSTRIELLE

DESFORGES

29, Quai des Grands-Augustins, 29

1922



Groupe électrogène, moteur vertical au gaz pauvre (Crossley).

PRÉFACE

De nos jours, toutes les matières premières, et spécialement le charbon, augmentent constamment de prix; la main-d'œuvre suit cette progression ascendante et c'est avec inquiétude que les industriels envisagent l'avenir.

D'un autre côté, les statisticiens nous menacent d'un épuisement rapide des mines de charbon de nos régions : la formidable consommation des machines à vapeur et des hauts-fourneaux est bien faite pour donner une base solide à cette menace.

Le jour où nos mines de charbon seront épuisées, nous devrons faire venir à grands frais le précieux combustible des mines problématiques d'Afrique ou d'Asie, mais alors nous assisterons au déplacement des centres industriels, car *l'industrie va là où il y a du charbon*. — Nous aurons, il est vrai les forces hydrauliques, *la houille blanche*, mais c'est là une puissance limitée et nécessitant souvent de grands frais de mise en œuvre.

Or nous avons, dès maintenant, le moyen d'économiser nos réserves de charbon et par surcroît notre argent ; ce moyen a fait ses preuves, mais il est encore relativement peu connu et surtout mal connu, c'est le *gaz pauvre* ou *gaz à l'eau* qui alimentera nos moteurs et nos fours dans les meilleures conditions de sécurité et d'économie. En effet, le moteur à gaz pauvre fournit la force motrice à un prix trois ou quatre fois moindre que la machine à vapeur, il demande moins de place, moins de surveillance, et ne présente aucun danger d'explosion ni d'incendie ; le moteur à gaz pauvre donne la force motrice à un prix moindre

que la plupart des installations hydro-électriques. — Mais le gaz pauvre n'est pas seulement fourni par le charbon : grâce aux gazogènes spéciaux, qui ont reçu d'importants perfectionnements dans ces dernières années, nous pouvons obtenir ce précieux gaz avec du bois et toutes sortes de déchets qui étaient jadis perdus par les industriels qui les produisent. En ce cas, le prix de la force motrice est infime ; nous en verrons l'exemple dans ce livre.

Le gaz pauvre remplace l'autre gaz pour le chauffage des fours et des chalumeaux et aussi pour l'éclairage. C'est donc une œuvre utile que d'en vulgariser la connaissance et l'emploi ; j'espère que cet ouvrage y contribuera pour le bien de notre industrie.

R. C.

Note pour la deuxième Edition. — Les prix des combustibles et de tout ce qui touche à la mécanique et à l'industrie ont subi, du fait de la guerre, une augmentation qui ne sera probablement pas définitive. C'est pourquoi je n'ai pas cru devoir modifier les tableaux de comparaison insérés dans ce livre, qui sont faits avec les prix d'avant-guerre.

Il suffit, pour le moment de multiplier par le coefficient 3 tous les chiffres de ces documents pour être environ au cours du jour (janvier 1922).

GAZOGÈNES
ET MOTEURS A GAZ PAUVRE
A LA PORTÉE DE TOUS

PREMIÈRE PARTIE

LE GAZ PAUVRE ET LE GAZOGÈNE

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITIONS ET NOTATIONS CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Le présent volume étant destiné à vulgariser la connaissance du *gaz pauvre* et à être lu par des personnes peu initiées aux notations techniques, nous croyons devoir le faire précéder de quelques définitions et explications.

Air. — L'air atmosphérique est un *mélange* de deux gaz, l'*oxygène* qui permet la *combustion* du bois et du charbon, et l'*azote* qui, au contraire, empêche la combustion ; sa présence dans l'air a pour effet de ralentir les combustions. Il y a dans l'air environ 2 parties d'azote pour 1 partie d'oxygène.

Carbone ou charbon. — Corps combustible qui forme avec l'oxygène de l'air, en brûlant, deux composés gazeux : l'un appelé *oxyde de carbone* se produit quand la combustion est lente,

c'est-à-dire quand l'air passe en petite quantité sur une grande masse de charbon incandescent ; l'autre appelé *acide carbonique* se produit quand la combustion est vive, c'est-à-dire quand une grande quantité d'air passe sur le charbon incandescent.

Oxyde de carbone. — Gaz combustible formé d'une partie d'oxygène et d'une partie de charbon, combinés ensemble ; l'oxyde de carbone est le produit de la combustion incomplète du charbon.

Acide carbonique. — Gaz incombustible formé de deux parties d'oxygène et d'une partie de charbon. L'acide carbonique est le produit de la combustion complète du charbon.

Eau. — Liquide formé par la combinaison de deux gaz, l'oxygène et l'hydrogène, à raison de deux atomes d'hydrogène pour un atome d'oxygène.

Hydrogène. — Gaz combustible qui brûle en présence de l'oxygène pour former de l'eau.

Carbures d'hydrogène ou hydrocarbures. — Corps liquides ou gazeux, combustibles, formés par la combinaison en proportions variables, d'hydrogène et de charbon (essences, pétroles, gaz d'éclairage, gaz des marais, etc.).

Cendres. — Résidus de la combustion du charbon ; les cendres proviennent des matières minérales non combustibles contenues dans le charbon. Un charbon est d'autant meilleur qu'il fait moins de cendres.

Mâchefers. — Pierres provenant de la fusion des cendres sous l'influence de la haute température d'un foyer et en présence des parties métalliques de ce foyer.

Anthracite — Charbon presque pur, c'est-à-dire donnant peu

de cendres (2 à 6 pour cent) et contenant peu de produits goudronneux.

Charbons maigres. — Charbons contenant peu de produits goudronneux, brûlant sans fumée et à courtes flammes.

Coke. — Charbon débarrassé des produits goudronneux par une première combustion partielle dans des fours spéciaux.

Calorie. — Quantité de chaleur nécessaire pour élever d'*un degré centigrade* la température d'un kilogramme d'eau.

Cheval-vapeur. — Quantité de travail nécessaire pour élever 75 kilogrammes à un mètre de hauteur en une seconde.

Watt et kilowatt. — Unités électriques pour la mesure de la consommation du courant électrique. Théoriquement, un *cheval-vapeur* produirait 736 watts électriques ; pratiquement, un cheval-vapeur correspond entre 800 et 1.000 watts à cause des pertes provenant de l'imperfection des machines. Le *kilowatt* est de 1.000 watts.

Air carburé. — Mélange d'air et d'un ou plusieurs gaz ou vapeurs combustibles. Quand l'air est en proportion convenable, le mélange d'air carburé devient un mélange *explosif* ou *détonant*, capable de donner la force motrice par son inflammation dans le cylindre d'un *moteur à gaz*. La proportion d'air doit être d'environ 10 fois, en poids, le poids du gaz combustible.

Pouvoir calorifique d'un gaz. — Quantité de calories que fournit en brûlant un mètre cube de ce gaz à la pression atmosphérique moyenne (760 mm.) et à zéro degré centigrade.

Pouvoir calorifique du charbon. — Quantité de calories que fournit en brûlant un kilogramme de charbon sec.

NOTA. — Ce livre n'étant pas écrit pour les savants, l'auteur

croit devoir se contenter de donner ces définitions élémentaires qui sont suffisantes pour la compréhension de la théorie pratique du gaz pauvre.

NOTATIONS

Pour abréger le texte nous emploierons dans cet ouvrage les notations chimiques et mécaniques usuelles, qui sont les suivantes :

O	veut dire	Oxygène
Az	»	Azote
H	»	Hydrogène
C	»	Charbon
CO	»	Oxyde de carbone
CO^2	»	Acide carbonique
C^nH^n	»	Carbure d'hydrogène
H^2O	»	Eau
HP	»	Cheval-vapeur
W	»	Watt
KW	»	Kilowatt
h	»	heure
cal	»	calorie

CHAPITRE II

—

LA CHIMIE DU GAZ PAUVRE

Tous mes lecteurs ont certainement remarqué le geste du forgeron projetant, avec un linge mouillé, un peu d'eau sur le brasier de sa forge. Au moment où les gouttelettes d'eau tombent sur le charbon ardent, on voit s'élever de longues flammes bleues et jaunes et l'activité du feu paraît augmentée. A ce moment le forgeron a fabriqué, sans s'en douter, ce que les chimistes ont appelé le *gaz à l eau* : en présence du charbon incandescent, l'eau s'est décomposée et son oxygène a formé avec le charbon de l'*oxyde de carbone* (CO) tandis que l'*hydrogène* (H) était mis en liberté ; mais ces deux gaz étant eux-mêmes combustibles, ils ont brûlé aussitôt en présence de l'oxygène de l'air ambiant, en formant l'un de l'acide carbonique (CO^2), l'autre de l'eau (H^2O).

C'est la combustion de ces deux gaz qui a produit les flammes bleues de l'oxyde de carbone et jaunâtres de l'hydrogène et c'est la chaleur produite par ces combustions qui a avivé le foyer.

D'autre part, l'air soufflé par la forge et arrivant sur les masses de charbon incandescent forme de l'oxyde de carbone (CO) gaz combustible, dont les flammes s'élèvent aussi au-dessus du foyer.

Il s'est donc produit ici deux sortes de gaz combustibles : l'un que nous appellerons *gaz pauvre* et qui est formé d'oxyde de carbone et d'azote de l'air, l'autre que nous appellerons *gaz à l'eau* ou *gaz d'eau* et qui est formé d'hydrogène et d'oxyde de carbone.

Les gazogènes qui alimentent nos moteurs fournissent un mé-

lange de gaz pauvre et de gaz d'eau, que l'on appelle scientifiquement *gaz mixte,* mais que dans la pratique on désigne le plus souvent simplement sous le nom de *gaz pauvre.*

La petite expérience ci-dessus contient toute la chimie du gaz pauvre.

Expliquons d'abord cette appellation de *gaz pauvre* qui, dit M. Witz, « doit être comptée parmi l'une des plus heureuses du vocabulaire scientifique et industriel ». Le *gaz de ville* ou gaz d'éclairage employé dans nos becs, réchauds et moteurs, possède un pouvoir calorifique d'environ 5.000 calories par mètre cube, tandis que le *gaz pauvre* produit par les gazogènes qui seront décrits dans ce livre ne possède qu'un pouvoir calorifique de 1.200 à 1.400 calories par mètre cube. Ce gaz est donc bien un *gaz pauvre* par rapport au gaz de ville que l'on appelle *gaz riche.* Mais en réalité au point de vue du rendement et de l'utilisation du combustible le *gaz pauvre* est de beaucoup supérieur au gaz de ville et à tout autre mode de production de la force motrice, nous le prouverons facilement ; son appellation de *gaz pauvre* paraît donc un peu ironique, puisque c'est lui qui, en réalité, donne les meilleurs rendements (1).

---

(1) Le *Rendement d'un Gazogène* est le rapport du nombre de calories contenues dans le gaz fourni par un poids déterminé de charbon, aux calories dégagées par la combustion complète du même poids de charbon.

La *Puissance Calorifique* d'un *Combustible* varie beaucoup suivant sa teneur en humidité, en hydrocarbures et en cendres.

Un kilogramme de carbone pur dégage en brûlant 8.080 calories ; la houille de bonne qualité a un pouvoir calorifique de 7.400 à 7.700 calories et on peut compter en moyenne sur 7.500 calories pour les charbons maigres ayant 6 à 8 $^0/_0$ de cendres.

Les lignites, la tourbe et le bois qui sont des combustibles à forte teneur en eau ont un pouvoir calorifique sensiblement inférieur.

La puissance calorifique du *gaz mixte* et le volume de gaz produit par kilogramme de charbon sont naturellement fonctions de la teneur en cendres du combustible, mais ils dépendent aussi de la plus ou moins grande proportion d'hydrogène contenue dans le gaz, hydrogène provenant de la décomposition de la vapeur d'eau et dont la formation entraîne forcément la production d'une certaine quantité d'acide carbonique s'élevant couramment à 5, à 6 et même 8 $^0/_0$.

En un mot, le rendement maximum d'un gazogène dépend essentielle-

Nous empruntons encore à M. Witz cette citation qui confirme ce que nous venons de dire :

« Ce gaz, pauvre en calories, mais riche en résultats, que l'on « peut fabriquer partout, avec n'importe quel charbon maigre, « pour utiliser directement son énergie dans les meilleurs des « moteurs, est un auxiliaire de l'industrie plus remarquable que « les chutes d'eau, qu'il faut capter et canaliser à grands frais et « qu'on ne peut employer qu'au pied des cimes neigeuses qui les « alimentent et à l'aide d'appareils d'un rendement trop souvent « médiocre.

« Le gaz pauvre possède le double avantage d'être fabriqué et « utilisé dans les meilleures conditions.

« Avec un kilogramme de charbon, on peut produire 4.600 litres « d'un gaz dont le pouvoir calorifique moyen est de 1.300 calories « par mètre cube : en estimant les calories du charbon à 7.500 et « celles du gaz engendré à 6.000, on calcule un rendement égal à « $\frac{6000}{7500}$, soit de 80 %. Or, les générateurs à vapeur ne rendent « guère que 73 % : le gazogène est donc très supérieur à la « chaudière à vapeur [1] ».

Le gaz pauvre, tel que l'emploient nos moteurs actuels, est obtenu en faisant passer, sur du charbon incandescent, un courant d'air mélangé de vapeur d'eau en proportion convenable, dans un appareil très simple appelé gazogène.

En présence de l'air, le charbon donne de *l'oxyde de carbone* et un peu *d'acide carbonique* selon les formules suivantes :

$$C + O = CO \text{ (oxyde carbone) (combustible)}$$
$$C + 2O = CO^2 \text{ (acide carbonique) (non combustible).}$$

---

ment de la teneur du gaz en hydrogène et ne correspond pas simplement, comme le croient certains industriels, à la production d'un gaz ayant une teneur aussi faible que possible en acide carbonique.

On peut compter qu'avec un kilogramme de bon charbon industriel on produit 4,4 à 4,7 mètres cubes de gaz à 1.300 calories et, souvent, avec un bon gazogène à 1.350 et même 1.400 calories par mètre cube.

[1] Depuis que ces lignes ont été écrites, les gazogènes ont été notablement perfectionnés et certains d'entre eux atteignent des rendements de 88 %.

En présence de la vapeur d'eau, le charbon donne de *l'oxyde de carbone* et *l'hydrogène* est mis en liberté :

$$C + H^2O = CO + 2H \text{ (1)}.$$

Ces gaz se forment dans la masse du charbon incandescent et *ils ne peuvent y brûler* comme ils l'ont fait dans la forge du forgeron cité plus haut, parce que le gazogène est fermé de toutes parts et que *l'air extérieur n'y pénètre pas*. Les gaz formés sont au contraire entraînés sur d'autres masses de charbon incandescent et alors l'acide carbonique formé au début se décompose selon la formule suivante :

$$CO^2 + C = 2CO \text{ (oxyde de carbone, combustible).}$$

De cette manière, il sort du gazogène, par la tuyauterie allant au moteur ou aux appareils d'utilisation, un gaz formé de :

oxyde de carbone, combustible
hydrogène, combustible

et de l'azote de l'air introduit primitivement dans le gazogène.

Ces réactions chimiques sont celles qui se produisent quand le charbon contenu dans le gazogène est pur, ce qui est le cas pour le coke. Mais si l'on emploie des charbons maigres ou de l'anthracite, contenant des *carbures d'hydrogène* ou *produits volatils carburés*, il y a en outre décomposition de ces produits pour former encore de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène qui viennent augmenter la richesse du gaz pauvre produit. Ces décompositions sont indiquées par les formules suivantes :

$$CH^4 + H^2O = CO + 6H$$
$$CH^4 + CO^2 = 2CO + 4H$$
$$C^2H^4 + 2H^2O = 2CO + 8H$$
$$C^2H^4 + 2CO^2 = 4CO + 4H$$

(1) Dans la réaction précédente il se produit du *gaz pauvre*, analogue aux gaz des hauts-fourneaux, tandis que dans celle-ci il se produit du *gaz à l'eau*, et le mélange de ces deux gaz donne au sortir du gazogène le *gaz mixte* ; mais dans la pratique, le gaz mixte est toujours appelé gaz pauvre, c'est pourquoi nous conserverons ici cette appellation.

Mais il faut remarquer qu'une partie seulement des hydrocarbures subit la décomposition et la transformation en hydrogène et oxyde de carbone, de sorte que le gaz pauvre produit par les anthracites et charbons maigres contient encore des *carbures d'hydrogène combustibles* et des produits goudronneux.

Pour éliminer ces produits goudronneux ainsi que les cendres fines que le gaz pauvre entraîne quelque peu, on fait passer le gaz à sa sortie du gazogène dans un *laveur* et quelquefois dans un *épurateur chimique*, mais la plupart des constructeurs modernes se contentent de faire subir au gaz pauvre un lavage qui est suffisant quand il est fait dans un appareil bien compris et quand le charbon ne contient pas de soufre.

Nous donnons ci-après la composition des gaz pauvres produits par divers gazogènes ; ces analyses prises au hasard suffiront à documenter nos lecteurs sur la composition des gaz pauvres obtenus avec divers combustibles.

Avec du coke :

H	15
CO	24
CO^2	9
Az	52
Pouvoir calorifique	1.218 calories

(DUPLEX).

Avec de l'anthracite du pays de Galles :

H	18,73
CO	25,07
CH^4	0,31
C^2H^4	0,31
Az	48,98
CO^2	6,57
O	0,03
Pouvoir calorifique	1.492 calories

(FOSTER).

Avec du charbon maigre anglais :

CO	11
H	29
C^2H^4	2
CO^2	16
Az	42
Pouvoir calorifique	1.414 calories

(MOND).

Avec du charbon maigre français :

CO	17,70
H	21,31
C^2H^4	2,40
Az	49,50
O	0,52
CO^2	8,57
Pouvoir calorifique	1.470 calories

(PIERSON).

Voici quelques chiffres d'analyses faites sur des échantillons prélevés en service normal, par MM. Fichet et Heurtey.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CO	27	28,6	25,1	29	22,3	22,6
H	12	14,7	22	14,2	20,5	21,4
C^2H^4	2,5	1,3	0,3	0,4	0,1	0,7
O	1	0,6	1,2	0,5	0,1	0,4
CO^2	2,4	3,7	4,6	2,5	6,6	7,3
Az	55,1	51,1	46,8	53,4	50,4	47,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

L'analyse n° 1 s'applique à un gazogène soufflé alimenté avec de la houille du bassin du Centre.

L'analyse n° 2 s'applique à un gazogène soufflé alimenté avec du lignite tout venant de Russie.

L'analyse n° 3 s'applique à un gazogène soufflé, avec air surchauffé, alimenté avec de l'anthracite.

Les analyses n^{os} 4, 5 et 6 s'appliquent à des gazogènes autoproducteurs de vapeur employant des charbons maigres du Nord, du Pas-de-Calais et du Bassin de Liège.

D'après ce que nous venons d'exposer théoriquement, une installation au gaz pauvre comprendra donc :

Toujours : un *gazogène* ou *générateur*, un *laveur, épurateur* ou *scrubber* ;

Quelquefois : un *épurateur chimique*, un *gazomètre d'accumulation* du gaz produit, et enfin : les appareils d'utilisation, *moteurs, fours, appareils d'éclairage, chalumeaux*, etc.

Nous étudierons successivement ces divers organes et appa-

reils ainsi que leur fonctionnement, mais nous allons auparavant donner une nomenclature des divers combustibles au point de vue de leur puissance calorifique.

	Pouvoir calorifique par kilogramme	
Houilles maigres :		
Decazeville	7.436	calories
Anzin	7.642	»
Blanzy	7.846	»
Anzin	8.200 à 8.600	»
Nœux	8.790	»
Lens Douvins	8.640	»
Aniche	8.426	»
Charleroi	8 400 à 8.550	»
Charbon maigre d'Anzin, brut	7.520	»
Anthracites :		
La Mure	7.500 à 8.200	»
Blangy	7.775	»
Commentry	7.850 à 8.450	»
La Grand'Combe	7.852	»
Creusot	8.400	»
Kibao (Tonkin)	8.532	»
Pensylvanie	8.256	»
Lignites	4.000 à 6.200	»
Tourbe :		
brute	3.775	»
pure	5.280	»
Cokes	7.000 à 7.700	»

Pouvoir calorifique du gaz pauvre obtenu avec :

Houilles maigres, noisettes	1.303	calories
Coke n° 2 (d'usine à gaz)	1.212	»
Poussiers d'Anzin, gras et maigres, mélangés	1.362	»
Anthracite	1.519	»
Poussier de houille	1.535	»
Houille d'Ecosse en noisettes	1.542	»
Anthracite	1.548	»

(d'après M. LENCAUCHEZ).

Charbon maigre d'Anzin .... 1.470 calories
(PIERSON).

Charbon maigre des Masses Diarbois .... 1.345 calories
(FICHET et HEURTEY).

Coke n° 0 .... 1.100 à 1.220
(DUPLEX).

Lignite .... 1.100 à 1.250
(DEUTZ).

Un kilogramme de charbon ou coke produit, suivant sa qualité, de 3.500 à 5.000 litres de gaz pauvre utilisable pour la force motrice, l'éclairage ou le chauffage.

Les meilleurs charbons pour gazogènes sont ceux qui brûlent régulièrement, sans s'effriter ni s'agglomérer sous l'influence de la température élevée qui règne dans l'intérieur de la cuve du gazogène ; ils doivent donner peu de cendres et glisser naturellement par leur propre poids, au fur et à mesure de la combustion, vers le bas de la cuve ; ils ne doivent pas former des mâchefers.

Le *charbon de bois* conviendrait bien, mais on ne peut l'employer que dans les pays où il est à bon marché.

Le *coke lavé*, en morceaux de la grosseur d'un œuf est très bon à condition qu'il soit exempt de soufre.

L'anthracite anglais a eu pendant longtemps la préférence sur tous les autres combustibles pour gazogènes, mais avec les perfectionnements successifs apportés à la construction de ces appareils, on est arrivé à employer maintenant à peu près tous les *charbons maigres*, même ceux donnant beaucoup de cendres ou contenant plus de 20 % de matières volatiles et goudronneuses.

On emploie dans les gazogènes : les anthracites anglais du Pays de Galles et de Llanelly ; les anthracites américains de Pensylvanie, d'Espagne et du département de l'Isère ; les charbons maigres français d'Anzin (Nord) (puits Chabaud-Latour et Lagrange), de Charbonnier (Pas-de-Calais), d'Ostricourt, Nœux, Vicoigne (Nord et Pas-de-Calais) ; de Saône-et-Loire, le Creusot et Monceau-les-Mines; du Gard, Nord-Alaïs ; du Tarn, de l'Aveyron, de la Sarthe et de la Mayenne.

Divers essais fort heureux ont été faits en mélangeant des charbons très maigres avec des houilles plus grasses : M. Lencauchez a obtenu d'excellents résultats en mélangeant de l'anthracite des Alpes (Briançon), à 12 % de cendres, avec 27 % de houille de Liévin contenant 30 % de matières volatiles.

On peut dire que maintenant il est possible d'utiliser la plupart des charbons français dans les gazogènes en appropriant ceux-ci à la nature du charbon que l'on a à sa disposition.

Certaines usines obtiennent le gaz pauvre en chargeant leurs gazogènes avec un mélange de houille et d'ordures ménagères ou gadoues, nous en avons un exemple à Saint-Ouen près de Paris ; d'autres gazogènes sont construits pour utiliser les déchets de bois, sciures, pailles, marcs de raisins, bagasses, etc., nous en verrons un exemple dans la suite de ce livre.

Les charbons renfermant trop de cendres donnent un feu qu'il faut ringarder trop souvent ; les cendres risquent d'obstruer les grilles et orifices et même d'être entraînées par le courant de gaz dans les canalisations où elles se déposent et qu'elles interceptent en partie. Si ces cendres sont fusibles, elles attaquent les parois et les grilles du gazogène et forment des mâchefers qui se collent contre ces parois et grilles, ce qui constitue un grand ennui pour la conduite du feu.

Les charbons contenant des goudrons en abondance sont à rejeter, car ces matières goudronneuses se déposent dans les canalisations et même sur les soupapes, le cylindre et le piston du moteur dont elles gênent la marche.

L'analyse du charbon sera donc le plus souvent nécessaire et évitera bien des pertes de temps lors de l'emploi du combustible.

Nous donnons ci-après la manière pratique d'analyser les houilles à ce point de vue.

MÉTHODE PRATIQUE D'ANALYSE DES CHARBONS

Au point de vue de son emploi dans le gazogène le charbon doit être analysé sous le rapport :

1° De l'humidité
2° Des matières volatiles
3° Des cendres.

1° *Dosage de l'humidité.* — On opère sur un kilog. de charbon exactement pesé, pulvérisé, puis desséché à l'étuve à 50° centigrades pendant une journée ; le charbon doit être disposé en couches minces dans l'étuve. La différence entre le poids primitif

et le poids du charbon retiré de l'étuve donne la quantité d'eau contenue dans un kilogramme du charbon essayé.

2° *Dosage des matières volatiles.* — On opère sur 100 grammes de houille pulvérisée, placés dans un creuset en terre fermé par un couvercle percé d'un trou par lequel pourront s'échapper les gaz et vapeurs : le creuset est chauffé au rouge dans un fourneau de laboratoire jusqu'à ce que tout dégagement de gaz ait cessé. On laisse refroidir lentement le creuset, puis on enlève le couvercle et on en retire le coke qui est pesé exactement ; la différence entre le poids de la houille et le poids du coke donne approximativement le poids des matières volatiles duquel il faut déduire l'humidité trouvée précédemment.

3° *Dosage des cendres.* — On opère sur 100 grammes de houille pulvérisée que l'on place dans une coupelle en porcelaine et que l'on calcine dans un moufle ouvert, chauffé à blanc dans un fourneau à réverbère. Il faut chauffer lentement et progressivement pour éviter les projections de la houille hors de la coupelle. Il est bon de prendre une coupelle large et plate ou mieux de répartir les 100 grammes de houille dans plusieurs coupelles.

On pèse les coupelles avant la mise au feu et après que l'incinération est terminée ; la différence donne le poids total des matières volatiles et combustibles d'où l'on déduit le poids des cendres.

L'incinération doit être prolongée assez longtemps pour que tout le charbon soit brûlé complètement ; on le reconnaît en remuant les cendres avec une cuiller en platine : s'il reste des points noirs ou en ignition, c'est que la combustion n'est pas terminée.

Si les cendres sont rougeâtres c'est un indice qu'elles contiennent du fer et il y a à craindre leur fusibilité dans le gazogène.

Nota. — Si l'on dispose d'une balance de précision, on peut réduire considérablement les quantités sur lesquelles on opère dans ces essais. L'essai d'humidité peut être fait sur 20 grammes ; l'essai des matières volatiles sur 5 grammes dans un creuset en

platine et l'essai des cendres sur 10 grammes dans une coupelle en platine ou en porcelaine.

ANALYSE DU POUVOIR CALORIFIQUE DU GAZ

Cette opération nécessite un outillage de précision, et ne peut être fait que dans les laboratoires spécialement installés à cet effet. Elle se fait en emmagasinant une certaine quantité du gaz à essayer avec une quantité suffisante d'oxygène ou d'air dans une *bombe* métallique et en provoquant l'explosion de ce gaz lorsque la bombe est plongée dans un *calorimètre* spécial. Nos lecteurs pourront consulter à cet égard le *Traité des moteurs à gaz* de M. Witz (1er volume) où se trouvent les comptes rendus des expériences faites par ce professeur. On emploie aussi pour ces analyses des calorimètres spécialement construits pour mesurer directement les chaleurs engendrées par la combustion des gaz à l'air libre : tels sont les appareils de Favre et Silberman, Hardtley, Junkers.

A ce sujet, la Société des moteurs Duplex nous communique les essais suivants faits par M. A. Lecomte :

Les réactions qui se produisent à l'intérieur du gazogène varient suivant la proportion d'air ou de vapeur introduite et la température de la masse combustible.

Avec une faible hauteur de combustible et une grande vitesse de passage, on a avec l'air :

$$C + 2O = CO^2.$$

Si la couche de combustible en ignition est épaisse, et en négligeant l'azote, il se produit une deuxième réaction, réduction du CO^2 :

$$CO^2 + C = 2CO.$$

Donc, au point de vue de l'obtention de l'oxyde de carbone, les conditions de meilleur rendement sont établies. Pour la vapeur d'eau les expériences de M. Harris ont démontré que la température était le principal facteur de la réaction, on a :

De 600 à 700°.............................. $C + 2H^2O = CO^2 + 2H^2$

A 1000°.................................... $C + H^2O = CO + H^2$

Nous pouvons savoir quelle sera théoriquement la composition du gaz dans les deux cas suivants, et en admettant que la vaporisation de l'eau ait lieu aux dépens de la chaleur développée par le gazogène, que les gaz produits s'échappent à 800°, dans ces conditions on n'aura pas besoin de tenir compte des pertes de chaleur et il n'y a pas de récupération.

1er CAS. *Maximum de vapeur d'eau.* — La formule nous permet d'établir le bilan calorifique de l'opération :

$$\underset{12}{C} + \underset{2\ \ 16}{H^2O} = \underset{28}{CO} + \underset{2}{H^2}$$

CO développe .... 12 × 2.473 = + 29.676 calories
H absorbe .... 2 × 28.474 = — 56.948 »

30 kg, gaz à 800°, absorbent :

30 × 0,28 × 800 .... = — 6.720 calories

Donc il manque 33.982 cal.

Pour trouver les calories qui manquent il faudra que nous produisions du CO², ce qu'il faut éviter, ou du CO qui est un gaz combustible.

Nous avons vu que 28 kg de CO développent 29.676 cal. qu'on peut utiliser, mais il faut compter que l'oxygène apporté par l'air est accompagné par de l'azote qui ne sert à rien et emporte des calories du gazogène pour les perdre dans l'eau du laveur.

Or, 28 kg de CO sont accompagnés de 60,8 kg de Az, soit calories emportées :

$$88.800 \text{ kg.} \times 0{,}23 \times 800 = 16.350.$$

Il reste donc, calories utiles pour 28 kg CO :

$$29.676 - 16.350 = 13.326.$$

Et pour que nous retrouvions les calories qui nous manquent il nous faudra introduire au foyer, avec la vapeur d'eau, suffisamment d'air pour produire :

$$\frac{33.982 \times 28}{13.326} = 71{,}5 \text{ kg. de CO}$$

qui seront accompagnés de 155 kg de Az.

En résumé, l'opération nous donnera théoriquement :

	En poids	En volume	%
CO	99,500	79,000	30,2
H	2,000	22,240	8,6
Az	155,000	160,200	61,2
	256,500	261,440	100,0

C'est un gaz à 1.213 cal. au mètre cube.

D'autre part, on voit que c'est une consommation de 18 kg. d'eau pour 42,6 kg de C pur, soit 422 gr. d'eau par kilogramme de charbon pur ; or, le cheval-heure s'obtenant en moyenne pour 500 gr. de charbon pur, soit 550 gr. de coke sec à 10 % de cendres, cette indication permet de régler les robinets pour une consommation d'eau de 385 gr. soit 400 gr. environ par kilog. de coke.

2° Cas. *Minimum de vapeur d'eau.* — On peut encore produire un gaz combustible rien qu'avec l'air, du moment que la couche de combustible a une hauteur suffisante. Voici quel est le bilan calorifique dans ce cas.

La formule donne :

$$\underset{12}{C} + \underset{16}{O} = \underset{28}{CO}$$

CO développe, 12 × 2.473 = 29.676 cal., mais 16 de O sont accompagnés de 60,80 kg d'azote, on a au total 28 + 60,800 = 88,800 kg. de gaz qui, à 800°, emportent comme nous l'avons vu plus haut 16.350 cal., il nous reste 13.326 cal. à utiliser.

Si nous n'ajoutons pas d'eau nous avons le gaz suivant :

	En poids	En volume	%
CO	28,000	22,32	26,20
Az	60,800	62,90	73,80
	88,800	85,22	100,00

C'est un gaz à 820 cal. au mètre cube.

Mais il nous reste de la chaleur disponible ; pour l'absorber, le calcul démontre que nous pourrions décomposer

$$\frac{18 \times 13,326}{38,982} = 7,060 \text{ kg. de } H^2O$$

qui produiraient :

CO	10,970 kg.
H	0,780 »

Et nous obtiendrons le gaz étudié dans le premier cas ; en ajoutant seulement moitié de l'eau nécessaire soit 241 gr. par kilogramme de C pur, on obtient le gaz suivant :

	En poids	En volume	%
CO	33,485	28,900	31,00
H	0,390	4,335	4,52
Az	60,800	62,820	64,48
	94,675	96,055	100,00

C'est un gaz à 1.100 cal. au mètre cube.

Le calcul démontre que pour une variation très grande dans la quantité d'eau introduite au gazogène la puissance calorifique du gaz varie relativement peu. Il est difficile de pécher par excès parce que la vapeur non utilisée s'échappe en buée par les orifices d'introduction d'air, un très léger excès de vapeur aurait même pour effet, dans les gazogènes à grille, d'empêcher la formation de mâchefers et l'adhérence de ces derniers aux barreaux.

L'explication de la constance calorifique du gaz pour des variations assez grandes dans le débit de l'eau est qu'un volume de CO remplace un volume de H ; il faut aussi tenir compte qu'on trouve toujours en pratique un certain volume de CO^2 qui augmente la proportion de H.

Nous avons fait nos prises de gaz sur un petit robinet vissé sur la conduite de gaz avant l'entrée à la soupape d'admission, au moyen d'une ampoule à deux robinets et en nous servant de la petite pompe aspirante de Demichel.

Les analyses ont été effectuées en nous servant de l'appareil Vignon à trois cloches avec eudiomètre à mercure et bobine d'induction.

Pour nous procurer l'oxygène nécessaire aux combustions nous avons utilisé la réaction très élégante de M. Sorel, qui consiste à décomposer l'eau oxygénée en la faisant tomber goutte à goutte dans un flacon à deux tubulures contenant de l'eau dans

laquelle on a fait dissoudre de la soude et ajouté un peu de bioxyde de plomb.

Pour l'eudiomètre on a besoin de volumes très faibles de gaz, et l'eau oxygénée du commerce peut donner plus de 100 volumes d'oxygène très pur, c'est le procédé le plus simple et le moins coûteux, car on trouve l'eau oxygénée partout.

1er Essai

Travail en charge		10 HP environ
Coke à l'heure, n° 0		6 kg. »
Eau partie supérieure	300	350 gr. par kilogramme de coke
» inférieure	50	
H	11	
CO	24	Pouvoir calorifique à 0° :
CO^2	6	
Az	59	1.091 cal.
	100	

On ne remarque pas d'absorption sensible de CO^2 après explosion, on peut donc négliger les traces de CH^4. Il ne doit pas y avoir non plus de C^2H^2, mais il serait compté comme CO et absorbé par la cloche au chlorure cuivreux ammoniacal.

2e Essai

Travail en charge		12 HP environ
Coke à l'heure		7,2 kg. »
Eau partie supérieure	200	240 gr. par kilogramme de coke
» inférieure	40	
H	5,5	
CO	26,0	Pouvoir calorifique
CO^2	3,5	du mètre cube :
Az	65,0	
	100,0	1.041 cal.

3e Essai (Moteur à vide)

Coke à l'heure		2 à 3 kg.
Eau partie supérieure	366	426 gr. par kilogramme de coke
» inférieure	60	
H	14,5	
CO	24,5	Pouvoir calorifique
CO^2	9,0	du mètre cube :
Az	52,0	
	100,0	1.218 cal.

4e Essai

Travail en charge		12 HP environ	
Coke à l'heure, n° 0		7,2 kg. »	
Eau partie supérieure........	430	490 gr.	
» inférieure........	60		
H..........................	15,0		
CO.........................	23,0		Pouvoir calorifique
CO^2.........................	11,0		du mètre cube :
Az..........................	51,0		
	100,0		1.185 cal.

Nota. — Des essais journaliers ayant donné une consommation de 600 à 630 gr. de coke par cheval-heure effectif, on a seulement tenu compte de la force produite.

Il résulte de ces essais que, pour des variations d'allure et de consommation à l'heure très importantes et pour des réglages différents de l'eau, le pouvoir calorifique du gaz varie de 15 à 20 %, suivant le travail demandé au moteur et suivant le réglage de l'eau admise au gazogène.

CHAPITRE III

—

L'EMPLOI INDUSTRIEL DU CHARBON DE BOIS POUR LA PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE (1)

La pénurie d'anthracite et les hauts prix atteints par ce combustible ont attiré l'attention des industriels employant le gaz pauvre sur l'emploi du coke et du charbon de bois. Le coke jusqu'à ces temps derniers a été rare et cher, c'est d'ailleurs un combustible qui exige des gazogènes spacieux et ce n'est justement pas le cas des appareils à anthracite.

Le charbon de bois au contraire s'emploie dans tous les gazogènes, même les plus réduits ; sa grande pureté et sa faible teneur en cendres (1 à 2 %) permettant l'emploi d'allures très chaudes et par conséquent la formation de gaz très riches et très purs.

Exempt d'acide sulfureux et sulfhydrique, le gaz produit ne ronge ni les tuyauteries, ni les scrubbers, ni les soupapes des moteurs. En réalité, le gaz pauvre produit par le charbon de bois est le gaz type, le gaz idéalement pur. Jusqu'à présent cependant, l'emploi du charbon de bois a été limité par les difficultés d'approvisionnement d'une part, et, d'autre part, à cause de la nécessité de casser le charbon qui ne passe pas dans les trémies des petits gazogènes, d'où perte de temps et déchet assez important de poussier.

Les usines productrices de charbon de bois viennent maintenant de s'organiser pour livrer du grain de charbon de bois

---

(1) Article de M. A. Béchevot, publié par le *Journal l'Usine*.

calibré comme le grain d'anthracite 15/30 pur. On peut donc employer le charbon de bois aussi commodément que l'anthracite. En coûte-t-il plus cher ? Non, au contraire, comme nous allons le voir.

En effet, la tonne de charbon de bois concassé vaut actuellement 330 francs, or, cette tonne de charbon contient 980 à 990 kilos de carbone pur, tandis qu'une tonne d'anthracite en grains ne contient actuellement guère plus de 750 à 800 kilos d'anthracite véritable et 200 kilos d'ardoise.

Or, les 800 kilos d'anthracite contiennent environ 6 à 7 % de cendres. Ce n'est donc en moyenne que 750 kilos de carbone et de gaz combustibles que l'on a en définitif par tonne d'anthracite.

Ces chiffres ne sont forcément qu'approximatifs, mais où l'industriel peut juger de l'économie qu'il fait, c'est à l'usage. Or, l'usage a révélé qu'avec 600 kilos de charbon de bois on obtient le travail d'une tonne d'anthracite de la qualité courante.

Il y a encore un argument qui milite en faveur de l'emploi du charbon de bois, c'est la nécessité de ne pas faire sortir d'argent de France, surtout pour le verser dans la poche des propriétaires de mines du pays de Galles.

On a préconisé ces temps derniers divers types de fours à faire du charbon de bois, soit par combustion d'une partie du bois employé (procédé des meules en forêt), soit en utilisant les gaz d'échappement des moteurs.

C'est une erreur.

En effet, faire du charbon de bois comme on le fait en forêt, c'est faire du coke en brûlant de la houille en tas.

Qui aurait l'idée d'un tel procédé ?

En faisant du charbon de bois au four, on perd toutes les matières volatiles contenues dans le bois, gaz et vapeur condensables qui forment ce qu'on appelle le pyroligneux. Ces matières volatiles perdues représentent en poids environ 50 % du poids total.

D'autre part, en faisant du charbon dans de tels fours, on n'obtient des fours que de la braise friable et du charbon non complètement distillé (ce qu'on appelle des fumerons). Ces fumerons

introduits dans les gazogènes produisent du goudron qui colle les soupapes.

Il n'y a pas d'autre moyen rationnel de distiller du bois que de le faire en vase clos et il n'y a que les usines installées pour distiller le bois qui sont capables de fournir des produits parfaits.

En distillant une tonne de bois en cornue, on obtient 200 kilos de gaz incondensables (oxygène et gaz combustibles) ; 250 kilos de charbon de bois ; 550 kilos de pyroligneux.

Or, de ces 550 kilos de pyroligneux on tire 17 litres d'alcool (méthylène brut) et 50 kilos d'acide acétique brut.

Les 550 kilos de pyroligneux renferment 50 à 55 kilos de goudron.

C'est donc gaspiller le combustible que de brûler du bois pour faire du charbon, soit en meules, soit dans des fours.

En intensifiant au contraire la distillation du bois en cornue, on disposerait de grandes quantités d'alcool, qui, pur ou mélangé au benzol, pourrait nous permettre de nous éclairer, de nous chauffer et d'alimenter des moteurs.

C'est une richesse qui s'en va en fumée dans les procédés de distillation par combustion lente puisque les gaz combustibles, le goudron, l'alcool et l'acide acétique sont perdus. Il faut donc proscrire ces procédés.

Enfin, en ce qui concerne le transport du combustible, il ne faut pas oublier qu'en transportant 10 tonnes de bois sec, on transporte seulement environ 20.000.000 de calories utilisables dans la combustion du charbon de bois, tandis qu'en transportant 10 tonnes de charbon de bois, on transporte 80.000.000 de calories.

L'inutilité de faire du charbon de bois dans des fours n'est donc plus à démontrer.

Il n'y a dans les gazogènes que deux façons d'employer le bois : c'est de le brûler directement par combustion renversée pour utiliser les goudrons en les réduisant en gaz non condensables, ou de brûler le charbon de bois, mais après avoir extrait du bois tous les produits volatils qu'il renferme.

CHAPITRE IV

—

GAZ DES HAUTS-FOURNEAUX

Les hauts-fourneaux, dans lesquels on fabrique la fonte de fer, constituent de véritables gazogènes où le charbon subit une combustion incomplète. Autrefois les gaz résiduels de cette combustion s'échappaient librement et brûlaient en pure perte au-dessus de l'orifice du *gueulard* en produisant d'énormes flammes qui s'apercevaient de loin.

Aujourd'hui on capte ces gaz en recouvrant le gueulard d'une sorte de calotte ou coupole et on les dirige dans le foyer des chaudières qui alimentent les machines soufflantes du haut-fourneau. On emploie aussi ces gaz pour réchauffer l'air injecté dans les tuyères. Avec cette utilisation la production d'une tonne de fonte, qui exigeait autrefois 4.000 kilog. de coke, ne demande plus que 800 kilog. de coke : l'économie est donc déjà considérable.

Mais si l'on substitue le moteur à gaz à la machine à vapeur pour la production de la force motrice nécessaire aux souffleries du haut-fourneau, on se trouve en présence d'une énorme force disponible que l'on peut appliquer à des usines quelconques ou à la production d'électricité pour l'éclairage ou le traitement des aciers selon les méthodes modernes :

« En estimant à 3 mètres cubes environ la consommation d'un moteur par cheval-heure, dit M. Witz, on voit qu'un haut-fourneau de 100 tonnes, qui envoyait généralement 8.000 mètres cubes de gaz par heure à ses chaudières, aura une disponibilité de 2.600 chevaux effectifs quand il utilisera directement ces gaz

par des moteurs; en comptant que le service du vent et des accessoires du fourneau absorbe 600 chevaux, il restera 2.000 chevaux pour les industries annexes. »

Ceci provient du rendement thermique excellent des moteurs à gaz, supérieurs à la machine à vapeur.

Le gaz pauvre fourni par les hauts-fourneaux a la composition suivante :

	En volume	En poids	
Oxyde de carbone.........	23 à 28	23 à 28	combustibles
Hydrogène.................	2 à 3	0,2 à 0,3	combustibles
Carbures d'hydrogène	2 à 8	8,8 à 0,10	combustibles
Azote.....................	60 à 55	58 à 53	inertes
Acide carbonique.........	12 à 10	12 à 10	inertes

Ces gaz ont un pouvoir calorifique variable de 850 à 1.100 calories selon la manière dont le feu est conduit dans le haut-fourneau, et nous prions nos lecteurs de consulter, pour plus de détails d'analyses, le *Traité des moteurs à gaz* de M. Witz, volume I.

Les moteurs à gaz pauvre utilisent parfaitement les gaz des hauts-fourneaux et on a construit à cet effet les plus gros moteurs qui existent actuellement, jusqu'à 1.000 et 1.200 chevaux par moteur ; il faut remarquer cependant qu'un moteur construit spécialement pour l'emploi de ces gaz, doit avoir des orifices et des soupapes plus larges qu'un moteur à gaz de gazogène : ceci en raison du pouvoir calorique relativement faible du gaz de haut-fourneau. Il faut aussi prévoir dans ce moteur une évacuation facile des poussières qui peuvent se déposer dans les culasses. L'allumage peut se faire par brûleurs, mais de préférence par étincelle électrique.

La principale question dans l'emploi des gaz de hauts-fourneaux est leur épuration au point de vue des poussières qu'ils contiennent en abondance et dont il faut nécessairement les débarrasser avant leur admission au moteur. On verra plus loin la manière de faire cette épuration au moyen de ventilateurs centrifuges arrosés d'eau.

La composition de ces poussières est très variable ; en voici une analyse faite à l'entrée au moteur :

Silice	36,40
Alumine	7,53
Fer	7,28
Chaux	13,50
Magnésie	0,19
Manganèse	0,59
Matières volatiles	34,51
	100,00

Les gaz renferment le plus souvent de l'acide sulfureux qui, en s'oxydant, corrode les soupapes du moteur.

La quantité de poussière au sortir du haut-fourneau est de 15 à 25 grammes par mètre cube ; au sortir des épurateurs et des ventilateurs injectés d'eau (appareils Theisen, Fichet-Heurtey, etc...) il ne reste plus que 2 à 7 décigrammes de poussière par mètre cube de gaz admis au moteur.

CHAPITRE V

GAZ DES FOURS A COKE

Ces gaz doivent d'abord être traités dans une usine à récupération des sous-produits où l'on recueille les goudrons, eaux ammoniacales et benzols. Ils contiennent encore ensuite un peu de goudron, du soufre à l'état d'acides sulfureux et sulfurique, des cyanures et des poussières ; on les épure au moyen de ventilateurs rotatifs puis par passage sur des masses d'épuration (mélange de Laming [1], minerai de fer d'alluvion) qui ramènent la teneur en soufre entre 0 gr. 2 et 0 gr. 5 par mètre cube, ce qui est insignifiant au point de vue de la conservation des moteurs. Les cyanures sont retenus aussi par les masses épurantes. Les masses épurantes sont revivifiées par exposition à l'air et servent ainsi une dizaine de fois, après quoi on peut en retirer le soufre et les cyanures qu'elles contiennent. Pour que les masses épurantes conservent plus longtemps leur activité on a proposé d'ajouter au gaz 2 à 3 % d'air avant son passage dans les épurateurs ; les masses servent trois ou quatre fois plus longtemps avant d'être revivifiées à l'air.

Le gaz des fours à coke contient de 50 à 60 % d'hydrogène libre ou carburé, ce qui donne des explosions très violentes et nécessite des moteurs de très bonne construction et des huiles de graissage ne laissant pas de résidus solides dans les cylindres.

Le mètre cube de gaz a un pouvoir calorifique de 4.000 calories et permet d'obtenir un kilowatt dans les gros moteurs. L'emploi de ce gaz dans des machines à vapeur nécessiterait une consommation 2 à 3 fois plus grande pour le même résultat.

---

[1] Le mélange de Laming est composé de chaux éteinte et de sulfate de fer.

CHAPITRE VI

GAZ A L'EAU

Le gaz formé par la seule décomposition de la vapeur d'eau au contact du charbon est connu sous le nom de *gaz à l'eau* ; il a une puissance calorifique d'environ 2.800 calories par mètre cube quand il ne contient pas d'acide carbonique, mais sa production ne peut être une opération continue.

La décomposition de la vapeur d'eau absorbe en effet de la chaleur, et, au bout de peu de temps, la température du foyer devient insuffisante pour effectuer la réaction.

Les gazogènes produisant uniquement le gaz à l'eau sont donc donc à marche intermittente, car on doit réchauffer le foyer à intervalles réguliers par un courant d'air ; et on ne peut assurer une production continue avec ce genre de gazogène, qu'en ayant en service au moins deux appareils en marche simultanée, commandés par une série de vannes de renversement : l'un fonctionne à l'air sec pour le réchauffage de son foyer et ne produit pas de gaz utilisable, l'autre est soufflé à la vapeur et sert à la fabrication même du gaz à l'eau.

Les réactions qui fournissent le gaz à l'eau sont très variables selon la qualité du combustible employé, selon la quantité de vapeur d'eau introduite dans le gazogène et selon la température du charbon sur lequel arrive cette vapeur d'eau. A partir du moment où l'on commence à injecter la vapeur d'eau, le charbon se refroidit sans interruption, la composition du gaz d'eau n'est donc pas constante et elle varie à chaque instant pendant le temps d'action du gazogène, jusqu'au moment où, la température étant trop basse, la vapeur d'eau n'est plus décomposée et il faut ré-

chauffer le gazogène en injectant de l'air au lieu de vapeur ; à ce moment la communication est fermée entre le gazogène et le gazomètre où se rassemble le gaz à l'eau et le gazogène est mis en tirage avec l'atmosphère, puis on souffle l'air sous pression ; la durée des périodes d'insufflation de l'air et de celles de vapeur est variable selon les appareils : dans les plus perfectionnés, employant l'air à forte pression, la période de réchauffage ne dure que deux minutes et la période de production de gaz à l'eau dure huit minutes.

Quand le charbon est très chaud on a :

$$H^2O + C = 2H + CO$$

quand le charbon est refroidi on a :

$$5H^2O + 3C = 2CO^2 + CO + 10H$$

c'est-à-dire qu'il se produit de l'acide carbonique non combustible au lieu d'oxyde de carbone.

En volumes, la composition du gaz à l'eau est, d'après Geitel :

	Hydrogène	Oxyde de carbone	Acide carbonique	Vapeur d'eau
	—	—	—	—
à 1.125°	50,9	48,5	0,6	0,6
à 861°	59,9	18,1	21,9	51,8
à 674°	65,2	4,9	28,9	91,2
à 450° la décomposition de l'eau cesse.				

Dans la pratique, le gaz à l'eau contient toujours un peu d'azote provenant du soufflage du gazogène avec l'air, pendant la période de réchauffage, et voici la composition moyenne du gaz à l'eau rassemblé dans le gazomètre :

Hydrogène	45 à 55	volumes
Oxyde de carbone	38 à 47	»
Acide carbonique	2 à 4	»
Carbures	0,2 à 1	»
Azote	2 à 5	»

Suivant les appareils, 1 kilogramme de coke donne de 1,5 à 2,5 mètres cubes de gaz d'eau dont la puissance calorifique varie de 2.500 à 3.200 calories par mètre cube. Le gaz à l'eau n'a pas de pouvoir éclairant, on l'emploie pour le chauffage, la force mo-

trice et l'éclairage par incandescence ; sa flamme est très chaude, en raison de la quantité d'hydrogène qu'il contient.

En Amérique, en Angleterre et en Allemagne, l'industrie du gaz d'eau a pris une grande extension, car il est bien plus économique que le gaz de houille. En France, on s'est opposé à son emploi public à cause de sa toxicité due à l'oxyde de carbone et on lui a reproché aussi son absence d'odeur qui rend les fuites difficiles à découvrir. Pour remédier à ces défauts, on le mélange avec du gaz de houille, on le carbure avec des benzols, et on l'aromatise avec du *mercaptan* (1) qui lui donne une odeur très forte.

Divers procédés ont été proposés pour produire le gaz à l'eau sans oxyde de carbone : M. Longsdon ajoute du sel de soude au charbon et obtient un gaz ne contenant plus que 1,2 % d'oxyde de carbone, mais 26 % d'acide carbonique qu'il faut éliminer par un passage sur la chaux vive (c'est là une grosse perte de calorique) ; M. Sabatier indique que le gaz chauffé en présence de fer et de nickel réduits donne du méthane, qui est un hydrocarbure par transformation catalytique de l'oxyde de carbone en présence de l'hydrogène ; en ajoutant de l'acétylène, on obtient une série de carbures très éclairants. Ces procédés seraient de nature à donner satisfaction aux hygiénistes, mais augmenteraient le prix du gaz d'eau qui, tel quel, rend de grands services à l'industrie privée.

(1) Le *mercaptan* est une combinaison de l'éther sulfurique avec l'hydrogène. C'est un liquide volatil d'une odeur alliacée insupportable.

CHAPITRE VII

LES GAZOGÈNES ET LEUR FONCTIONNEMENT

CONSTITUTION D'UN GAZOGÈNE

Un gazogène se compose en principe d'une cuve en métal, fonte ou acier, garnie intérieurement de terre réfractaire, dans laquelle se fait, *en vase clos*, la combustion du charbon. Le combustible est introduit par le haut du gazogène par un orifice à couvercle hermétique appelé *trémie de chargement*; il brûle lentement dans la cuve réfractaire et les cendres ou mâchefers sortent par la partie inférieure, soit au travers d'une grille, soit par un orifice fermé par une porte ou une *sole* mobile ou fixe.

L'air nécessaire à la combustion est introduit, suivant les cas, par le bas ou par le haut de la cuve; si l'air est introduit par le bas, la combustion se fait de bas en haut, dans le sens normal; si l'air est introduit par le haut du gazogène, la combustion se fait de haut en bas, c'est une combustion renversée. Deux procédés étaient indiqués pour alimenter d'air le gazogène :

1° Comprimer de l'air avec une pompe ou un ventilateur et insuffler cet air aux endroits convenables dans le gazogène ; on a ainsi *les gazogènes soufflés*.

2° Réunir le gazogène au moteur par un tuyau parfaitement étanche et faire *aspirer* le moteur dans ce tuyau ; l'appel de gaz pauvre fait par le moteur en marche correspond à une entrée d'air frais dans le gazogène : on a ainsi les *gazogènes par aspiration*.

La vapeur d'eau peut être fournie par une chaudière indépendante du gazogène ou bien par une chaudière faisant partie du gazogène et utilisant les chaleurs perdues par les parois de la cuve où se fait la combustion. La vapeur d'eau est admise soit mélangée à l'air, soit au moyen d'orifices injecteurs, convenablement disposés tout autour de la cuve (voir fig. 7).

Ce sont ces divers dispositifs qui différencient les divers gazogènes, chaque dispositif ayant des avantages et des inconvénients.

La quantité d'eau qui donne le meilleur gaz dépend du degré d'humidité du charbon, de la qualité de ce charbon et aussi de l'humidité de l'air ambiant ; cependant il y a une règle approximative de cette quantité : M. Witz, dans son excellent *Traité des moteurs à gaz et à pétrole,* donne le tableau suivant :

Eau par kg. de carbone .	0	510gr	660gr	710gr	750gr	860gr	920gr
Calories du gaz produit.. (par kilog. de carbone).	5.263	5 334	6.001	5.800	5.337	5.344	5.413

On voit que le pouvoir calorifique du gaz est supérieur pour une quantité d'eau déterminée.

De même, la quantité d'air introduite dans le gazogène doit être réglée avec précision ; si l'on admet trop d'air, la combustion du charbon devient trop vive, il se forme de l'acide carbonique et même il peut passer de l'air avec le gaz pauvre formé, si la couche de combustible n'est pas assez épaisse. Si l'on n'admet pas assez d'air, le feu s'éteint. D'un autre côté, la quantité d'air nécessaire varie selon la nature du combustible ; la construction d'un gazogène nécessite donc des prévisions minutieuses.

La quantité de vapeur d'eau correspondant au volume d'air admis et à la nature du combustible est aussi déterminée par le constructeur du gazogène : si l'on n'admet pas assez d'eau, le gaz est trop pauvre, si l'on admet trop d'eau, le foyer est rapidement refroidi et le feu s'éteint. Cependant, certains gazogènes emploient de l'air fortement réchauffé par les chaleurs perdues de l'appareil, ce qui permet d'admettre une plus grande quantité de vapeur d'eau et de produire un gaz plus riche en hydrogène.

De ce qui précède, il résulte qu'on doit acheter un gazogène

construit spécialement en vue du combustible dont on dispose : coke, anthracite ou charbon maigre, un gazogène quelconque ne pouvant généralement pas utiliser aussi bien l'un ou l'autre de ces combustibles.

Dans les descriptions de gazogènes que nous donnerons plus loin, on verra les différences qui permettent l'emploi des divers charbons.

Le gaz sort de la cuve du gazogène par un gros tube en fer qui se divise immédiatement en deux branches, l'une allant au *laveur* ou *scrubber* et l'autre à l'air libre : cette branche est la *cheminée d'allumage* qui n'est utilisée que pendant la période d'allumage du combustible ; dès que cet allumage est fait et que le *gaz est bon*, cette cheminée est fermée par un robinet hermétique et le gaz s'en va au laveur et de là aux appareils d'utilisation.

La cuve du gazogène est munie vers la partie inférieure d'un *ventilateur* qui est actionné à bras d'homme dans les petites installations et mécaniquement dans les grands gazogènes. Ce ventilateur sert à insuffler l'air pendant la période d'allumage ; son action cesse dès que le moteur aspire ou que l'air est appelé par le jeu régulier de la marche de l'installation.

La cuve du gazogène est encore munie de divers accessoires, tels que : niveau d'eau, si la chaudière fait corps avec le gazogène ; manomètre ; robinet sur la conduite de gaz, pour essayer si le gaz produit est bon ; tampons de nettoyage et de ramonage ; tube d'échappement d'excès de vapeur, etc.

A la sortie du gazogène, le gaz passe dans le *laveur* ou *scrubber* qui est constitué par une colonne cylindrique verticale d'assez grande hauteur dans laquelle on charge du coke en morceaux, sans poussier, sur lequel coule un filet d'eau qui se rassemble et s'écoule par un siphon à la partie basse du laveur. Le gaz, en passant à travers le coke mouillé d'eau, se débarrasse des cendres et poussières entraînées, des matières goudronneuses et ammoniacales et de l'hydrogène sulfuré qu'il peut contenir, provenant du soufre que l'on rencontre fréquemment dans le charbon ou le coke. Le gaz traverse généralement le laveur de bas en haut. Quelquefois le coke y est remplacé par des gros cailloux ou de la

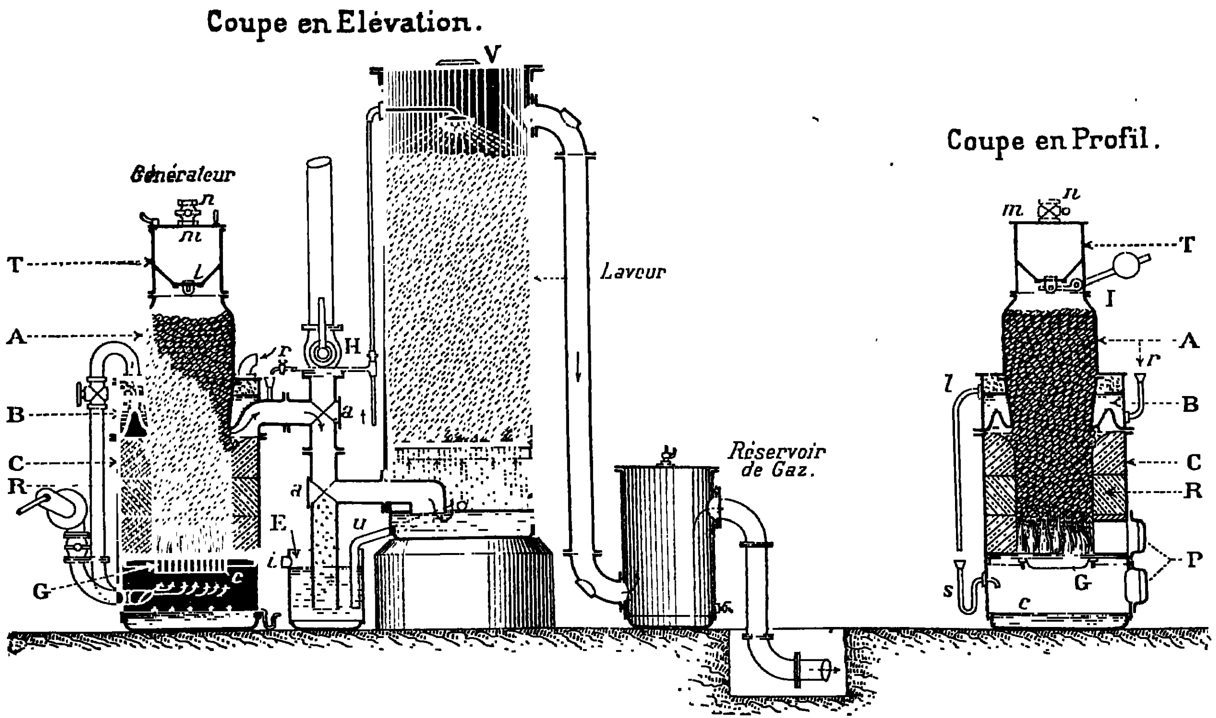


Fig. 1. — Gazogène à grille (Salmson).

T, trémie de chargement du combustible. — A, partie supérieure du gazogène formant réserve de combustible. — C, cuve du gazogène. — R, briques réfractaires. — G, grille, c cendrier. — B, chaudière à eau. — r, robinet d'alimentation d'eau. — H, vanne de la cheminée. — E, écoulement des eaux de lavage du gaz. — a-a, tampon de nettoyage. — m-n, couvercle hermetique.

brique concassée ; on met les plus gros morceaux en bas et les plus fins en dessus. Certains scrubbers sont cloisonnés horizontalement pour obtenir une plus certaine division des matières et faciliter la circulation du gaz.

Du laveur, le gaz passe dans *l'épurateur chimique*. Tous les constructeurs n'adjoignent pas un épurateur chimique à leurs gazogènes, cependant l'utilité de cet organe est incontestable lorsqu'on emploie des charbons contenant du soufre. Cet épurateur se compose d'une caisse en fonte dans laquelle sont des plateaux en bois sur lesquels on place la matière épurante, qui est soit de l'oxyde de fer, soit un mélange de chaux éteinte et d'oxyde de fer, soit un mélange de chaux éteinte et de sulfate de fer (*matière Laming*), L'épurateur chimique retient l'acide sulfhydrique ou hydrogène sulfuré que peut contenir le gaz. Il faut changer de temps à autre, selon les indications du constructeur, la matière épurante.

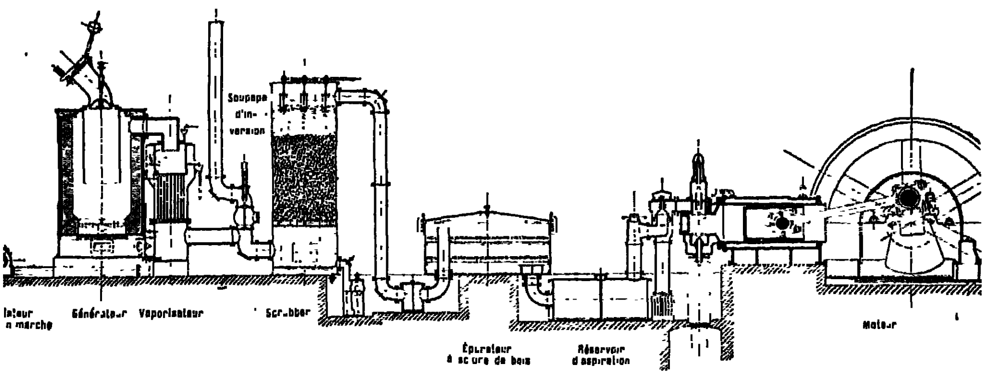


Fig. 2. — Détails d'une installation de gazogène par aspiration.

A la sortie de l'épurateur chimique, le gaz s'accumule dans un gazomètre ou bien se rend directement aux appareils d'utilisation.

Epurateur filtre à sciure. — Quand on emploie de l'anthracite, du charbon de bois, du coke, en un mot des charbons non bitumineux ni sulfureux, l'épurateur chimique peut être supprimé. On adopte alors l'épurateur filtre constitué par un corps

cylindrique en tôle, de grand diamètre, qui a pour but de parfaire l'épuration physique du gaz, en absorbant l'humidité, les poussières fines et les vésicules goudronneuses.

Il contient des claies superposées, sur lesquelles repose la matière épurante généralement constituée par de la grosse sciure de bois, préalablement humidifiée (1).

Des tampons de visite facilitent le changement de la matière épurante, qui est nécessaire de temps à autre, de un à trois mois environ, selon les dimensions et les dispositions intérieures de l'appareil.

Pot réservoir de gaz ou poumon. — *Le pot réservoir de gaz* a pour but de régulariser la vitesse de passage des gaz dans le foyer et dans les épurateurs, et de diminuer ainsi leur vitesse au moment de l'aspiration du moteur.

En outre, il permet de recueillir l'eau qui a pu être entraînée par le gaz en passant à travers le laveur, lorsque l'épurateur filtre n'a pas été prévu.

TUYAUTERIES

Dans l'installation des gazogènes, il faut insister sur le grand diamètre des tuyauteries, la facilité de ramonage de ces tuyaux par des *tampons* placés aux coudes de raccordement des tuyaux.

---

(1) La Société des moteurs à gaz et d'Industrie mécanique donne à ce sujet les indications suivantes :

Lorsque l'on emploie des combustibles d'une teneur assez élevée en matières volatiles (au-dessus de 8 %), nous plaçons avant ce dernier appareil un filtre à fibre de bois, si la puissance demandée à la machine est peu variable. Si l'installation est sujette à marcher à des puissances variables ou pendant un certain temps en dessous de sa puissance normale, nous préférons proposer un épurateur centrifuge avec injection d'eau suivi d'un dispositif destiné à sécher le gaz. Dans tous les cas où on nous spécifie, ou si l'installation doit marcher pendant une assez longue période sans arrêts, nous disposons une tuyauterie de dérivation avec robinets, de telle façon qu'il soit possible d'arrêter l'épurateur et de le visiter si nécessaire. L'installation entière n'est pas, ainsi, arrêtée du fait d'un accident qui surviendrait à ce petit appareil.

Les coudes doivent être arrondis, les joints parfaits à cause de la toxicité et de l'inflammabilité du gaz dont l'odeur très faible ne révèle pas immédiatement les fuites.

L'inconvénient des tuyauteries de petit diamètre est d'y rendre très sensible la dépression causée par l'aspiration du moteur ; si cette dépression prend une grande valeur, il peut s'ensuivre un retour d'air suivi d'un retour de flamme venant du moteur et, par suite, une explosion dans les tuyauteries.

Il est donc utile de vérifier la valeur de cette dépression ; voici les dépressions constatées sur un gazogène Pierson :

Sur le gazogène	3^{mm} d'eau
Avant l'épurateur chimique	10^{mm} »
Sur le moteur	18^{mm} »

La présence d'un gazomètre où le gaz se rassemble à la sortie du laveur et de l'épurateur facilite la mise en route du moteur, mais elle a l'inconvénient d'une accumulation de gaz combustible ; on doit réduire au strict nécessaire la capacité de ces gazomètres.

ALLURE DU GAZOGÈNE

On désigne par *allure d'un gazogène* le poids de combustible gazéifié par heure et par mètre carré de section horizontale de la cuve.

Lorsque le gaz est utilisé sans épuration, à la sortie du gazogène, la résistance que le courant gazeux doit vaincre se réduit à celle produite par la couche de charbon : elle peut varier entre quelques millimètres et quelques centimètres d'eau.

Quelquefois le tirage de la cheminée ou des fours accolés aux gazogènes est suffisant ; on dit alors que le gazogène marche au *tirage naturel*, mais lorsque la résistance est un peu plus importante le tirage naturel ne suffit pas pour assurer la production du gaz et on doit activer le courant d'air soit par un ventilateur, soit par un souffleur à vapeur ; en ce cas l'appareil est un *gazogène soufflé* pouvant fournir le gaz sous une pression de plusieurs centimètres d'eau.

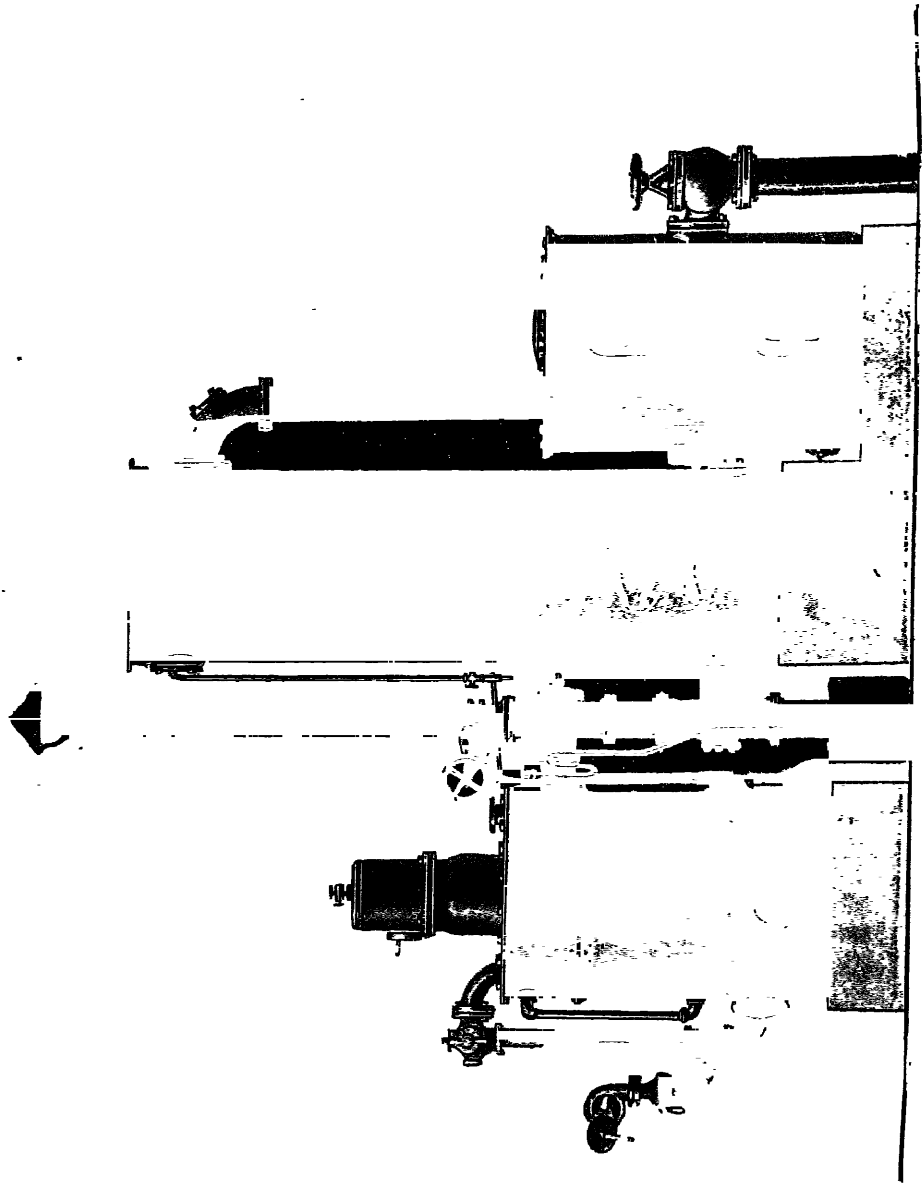


Fig. 3.

On peut aussi aspirer le gaz à l'aide d'un ventilateur ou d'un aspirateur quelconque ; l'appareil prend alors le nom de *gazogène en aspiration*.

Comme il est facile de s'en rendre compte, la construction de l'un et de l'autre de ces appareils nécessite des enveloppes parfaitement étanches.

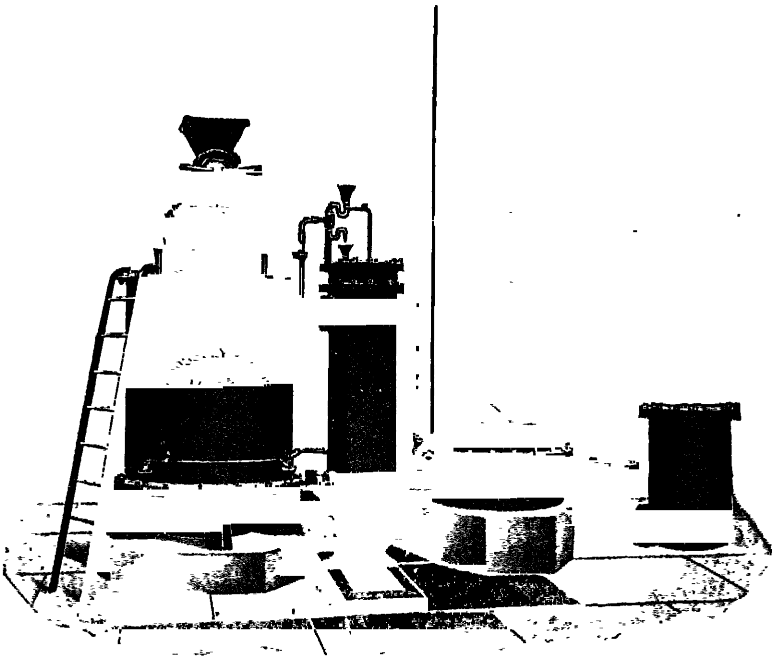


Fig 4. — Gazogène Crossley à foyer ouvert à gradins facilitant le décrassage.

Pour quelques applications, lorsqu'il s'agit de force motrice, par exemple, la marche en aspiration est préférable ; et même dans certains cas, l'aspiration du gaz est produite directement par le moteur.

Un gazogène marchant au tirage artificiel, en pression ou en aspiration, travaille à une allure plus vive qu'un appareil marchant au tirage naturel. Cette allure est pourtant limitée par la haute température développée à la base du foyer ; il importe, en

effet d'éviter l'excès de température qui, avec certains charbons, provoque un encrassement rapide et une marche irrégulière due ou collage des mâchefers.

L'allure d'un gazogène dépend de la grosseur du charbon, de la hauteur de la couche de combustible, de la plus ou moins grande fusibilité des cendres, de la pression dont on dispose, et par suite, des pertes de charge dues aux conduites et appareils que le gaz doit traverser à la suite du gazogène.

En se tenant dans les limites que la pratique a sanctionnées, l'allure d'un gazogène n'a pas grande influence sur le rendement de l'appareil lorsqu'il a bien été établi pour le but à remplir et qu'il est suffisamment protégé contre les pertes de chaleur ; mais, sauf dans des cas tout à fait spéciaux, on peut dire qu'on a toujours intérêt, au point de vue de la facilité de conduite et de la régularité de marche, à faire fonctionner les gazogènes en *allure modérée*.

CHARGEMENT DES GAZOGÈNES

Une des conditions essentielles pour le bon fonctionnement de ces appareils est que la couche de combustible présente une hauteur suffisante, sensiblement égale sur toute la surface, et régulièrement perméable au passage du gaz.

Lorsque cette condition n'est pas remplie, l'allure est plus vive en certains endroits, il se forme dans la masse du combustible des cheminées à travers lesquelles monte de l'air qui brûle une partie du gaz dans le gazogène même, et la haute température développée en ces points provoque la formation de grosses loupes de mâchefers qui empêchent la régularité de la combustion.

On se sert, en général, pour le chargement des gazogènes, de trémies à double fermeture qui portent à leur partie inférieure un ou plusieurs cônes de répartition du charbon. Dans certains cas, pour des appareils puissants, on dispose au-dessus du couvercle une grande trémie contenant un approvisionnement suffisant et

on la munit d'un mécanisme spécial permettant de déverser le combustible d'une façon uniforme et régulière sur toute la surface du gazogène (fig. 6 et 7).

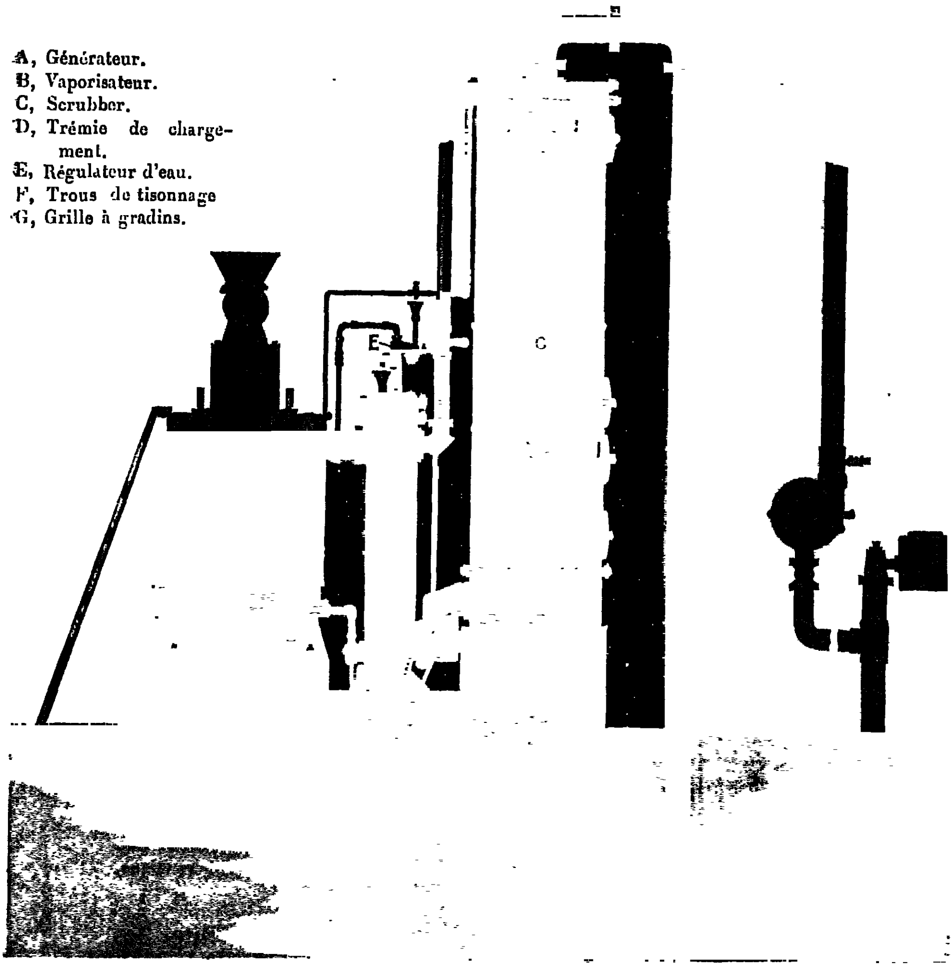


Fig. 5. — Gazogène pour anthracite, charbon et coke à foyer ouvert (Crossley).

DÉCRASSAGE DES GAZOGÈNES

Au fur et à mesure que le charbon se consume, il laisse, comme résidus, des cendres et des mâchefers qu'il faut retirer de

temps en temps ; cette opération, qui constitue le décrassage, doit se faire sans produire de déchet de combustible.

Si le décrassage est déjà une opération délicate avec les foyers ordinaires dans lesquels la couche incandescente n'a guère que 10 centimètres de hauteur, on comprend qu'elle présente de réelles difficultés avec les gazogènes, quand il s'agit d'extraire les mâchefers sous une charge d'un mètre et plus de combustible incandescent.

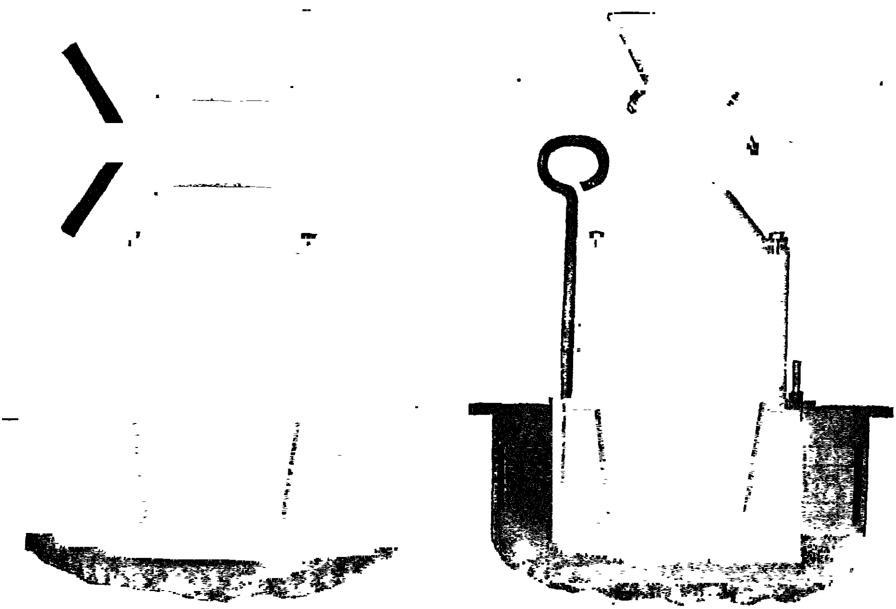


Fig. 6. — Trémie de chargement ouverte et fermée (Crossley).
Le mécanisme de la trémie doit être tel qu'il évite autant que possible les rentrées d'air dans le gazogène au moment de l'introduction du combustible. Sa fermeture doit être hermétique.

Il existe beaucoup de dispositifs dans le but de faciliter les décrassages ; on a employé des grilles à gradins formées de barreaux plats, des grilles inclinées ou horizontales formées de barreaux mobiles ; on a supprimé les grilles en laissant dans le cendrier une couche épaisse de mâchefers qui sert de support au combustible : enfin on emploie les soles mobiles ou tournantes. Nos gravures montrent plusieurs de ces dispositifs.

Le procédé habituellement usité pour décrasser un gazogène

consiste à former, au moyen de barreaux mobiles, une « fausse grille » entre le combustible incandescent et les crasses ; le combustible se trouvant momentanément supporté, on peut travailler sous la fausse grille à l'extraction des mâchefers, souvent collés entre eux ou adhérents aux parois.

L'ouvrier doit d'abord enfoncer les barreaux de la fausse grille à la hauteur et dans la direction voulues, en leur donnant, autant que possible, un espacement régulier. Ceci fait, il brise les mâchefers avec une pince, puis les amène avec un crochet. Dès qu'un vide s'est produit sous la fausse grille, les petits morceaux de combustible embrasé passent au travers des barreaux et tombent avec le mâchefer, en formant un tas incandescent.

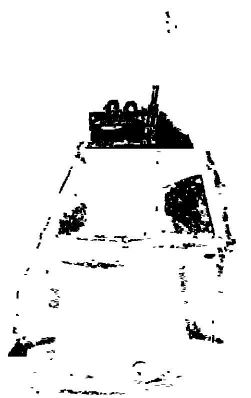


Fig.7 — Trémie hermétique.



Fig. 8. — Sole tournante (Winterthur).

Un des moyens les plus pratiques pour diminuer les difficultés de décrassage consiste à maintenir les appareils en allure lente, de façon à éviter la fusion des mâchefers et le collage contre les parois et à leur conserver une porosité suffisante pour que l'air les traverse facilement. Toutefois, cette allure lente conduit à une augmentation notable des dimensions des appareils, d'où résulte un surcroît de dépense d'installation qui n'est pas toujours admissible.

La question de décrassage, qui a été longtemps un des grands obstacles à la généralisation des gazogènes, est aujourd'hui com-

plètement surmontée par l'emploi des *soles mobiles* et des *soles tournantes* dont nous verrons plus loin des exemples.

A l'aide de ces dispositifs, le décrassage s'opère facilement en pleine marche sans changer l'allure de l'appareil, sans modifier la qualité du gaz et sans occasionner de déchet de combustible.

La perte de combustible due au décrassage n'est pas toujours estimée à sa vraie valeur. D'après de nombreuses expériences, on a constaté qu'à moins de soins tout à fait spéciaux, les produits de décrassage d'un foyer à grille contiennent en moyenne 50 % de combustible ; ceci revient à dire qu'on en perd environ autant que le charbon renferme de cendres (1).

COMBUSTIBLES

La *puissance d'un gazogène*, c'est-à-dire la quantité de combustible qu'il peut gazéifier dans un temps donné, ne dépend pas uniquement de ses dimensions. Elle varie aussi suivant la nature du combustible employé, avec sa grosseur, qui peut aller des plus petits criblages au tout-venant, avec la composition des cendres qui sont plus ou moins fusibles. Il y a encore à tenir compte de divers éléments, tels que la résistance des appareils placés après le gazogène, la continuité de marche et la régularité du service.

Selon les applications et suivant les conditions où l'on se trouve, on peut brûler du charbon gras, du demi-gras, du maigre, de l'anthracite, du coke, du lignite, du bois, etc.

Le *choix du combustible* dépend beaucoup de l'emploi que l'on veut faire du gaz. Si ce dernier doit être *lavé* et *épuré*, comme nous le verrons plus loin, il faut faire usage des *charbons* les plus *maigres*, c'est-à-dire contenant peu d'hydrocarbures, puisque le lavage et l'épuration du gaz ont justement pour but de le débarrasser de ses goudrons et produits volatils condensables.

(1) Après triage les résidus encore combustibles peuvent être employés au chauffage domestique ou mélangés au charbon frais pour être remis dans le gazogène.

Si, par contre, on *utilise* le gaz pour le brûler à la *sortie du gazogène*, on peut faire usage de *houilles* plus ou moins *grasses*, dont le choix dépend surtout du four qu'il s'agit de chauffer, ainsi que de la nature et de la longueur des flammes que l'on désire obtenir.

Les houilles grasses et demi-grasses peuvent être brûlées dans le gazogène à l'état de tout-venant ; mais, avec les houilles maigres et l'anthracite, il importe de ne pas charger une trop forte proportion de fines, pour ne pas former une masse compacte que le courant d'air aurait de la peine à traverser, et on ne doit les employer qu'en grains ne contenant que peu de poussier.

C'est seulement dans certains cas qu'on peut utiliser les fines maigres mélangées avec une proportion suffisante de poussier gras.

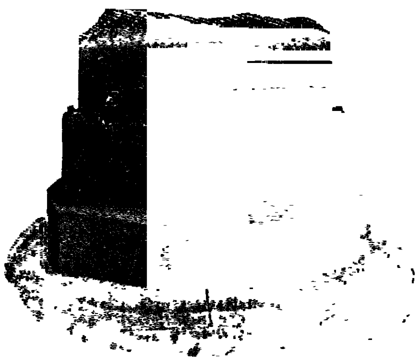


Fig. 8 *bis*. — Foyer ouvert Crossley.

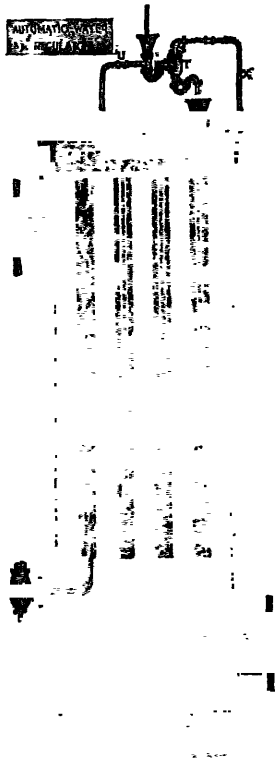


Fig. 9. Vaporiseur Crossley.

Enfin, si l'on n'a pas le choix du combustible ou que l'on désire utiliser des déchets susceptibles de donner du gaz pauvre, il faut prendre un gazogène construit spécialement pour l'emploi de ces combustibles exceptionnels.

Vaporiseur. — Dans la plupart des gazogènes, le *vaporiseur* ou *vaporisateur*, destiné à fournir la vapeur d'eau nécessaire à la

constitution du *gaz mixte* ($Co + H$), fait partie de la cuve du gazogène, sous forme d'une petite chaudière entourant une partie de cette cuve.

Certains constructeurs emploient la chaleur du gaz, qui sort du gazogène, pour vaporiser l'eau. La figure 9 montre un vaporiseur Crossley que l'on voit installé sur la figure 5, à la sortie du gazogène.

Ce vaporisateur est muni d'un réglage automatique d'arrivée d'eau, combiné sur l'aspiration du gaz par le moteur.

Nous trouverons d'autres dispositifs de vaporiseurs dans la suite de ce livre.

ALLUMAGE ET CONDUITE DU FEU

Avant d'allumer le feu s'assurer que le vaporisateur est rempli d'eau.

Le ventilateur à main placé sur le gazogène sert à l'allumage du feu et à la mise en train.

La mise en train se fait comme suit :

On dispose sur la grille du gazogène une couche de bois, ou mieux de braise, que l'on allume ; la fumée sort par la cheminée, dont le robinet est ouvert pendant cette opération.

Dès que le bois est enflammé, on verse par la trémie une petite quantité de combustible, de façon à constituer une *couche de faible épaisseur* dans le foyer, dont on ferme à ce moment les portes. On ventile ensuite de façon à *porter le charbon à l'incandescence*, puis on continue progressivement le chargement du combustible, en assurant en même temps la ventilation jusqu'au moment où le gaz alimenté aux robinets témoins donne une *flamme longue, d'un bleu rougeâtre*. Cette teinte indiquant que le gazogène produit à ce moment du *bon gaz*, on peut donc mettre en route le moteur après avoir fermé le robinet-vanne de la cheminée du gazogène.

Tous les robinets d'essai doivent être munis d'une *toile métallique* très fine pour empêcher les flammes de pénétrer dans le gazogène. Ne pas essayer le gaz avant de s'être assuré de la présence de cette toile métallique.

A la première mise en marche du gazogène, laisser passer du gaz dans la tuyauterie allant au moteur pendant environ 5 minutes, avant de présenter une flamme au robinet d'essai et d'essayer de faire partir le moteur, afin de chasser l'air de cette tuyauterie et d'y éviter la formation d'un mélange explosible.

MM. Fichet et Heurtey donnent les indications suivantes pour la mise en train de leurs gazogènes : on remplit la trémie inférieure de *mâchefers* de la grosseur du poing, de façon à couvrir toutes les parties métalliques. On charge ensuite des copeaux, du bois sec que l'on allume, puis une certaine quantité de *combustible*. La porte du cendrier reste ouverte, ainsi qu'un ou deux trous de piquage ou une cheminée de la conduite de gaz, et le tirage se fait naturellement.

Lorsque l'appareil est neuf il faut chauffer lentement pour sécher la maçonnerie de terres réfractaires qui garnit l'intérieur du gazogène.

Dès qu'une charge de combustible est bien allumée, on en verse une autre, jusqu'à ce que, la couche augmentant d'épaisseur, le gaz commence à se former. On peut alors souffler à basse pression pour activer le feu et on ferme la porte du cendrier.

Il est bon de faire l'*allumage* avec du coke, pour éviter la production de la fumée et la condensation des goudrons dans les conduites froides.

En traversant la couche de charbon incandescent, le mélange d'air et de vapeur se tranforme en *gaz combustible* suivant les réactions que nous avons expliquées plus haut.

Il est nécessaire toutefois, pour qu'elles aient lieu d'une manière complète, que la température du foyer ne descende pas au-dessous d'une certaine limite, et que la couche du combustible ait une *hauteur suffisante* ; celle-ci peut varier entre 40 centimètres et $1^{m},20$, suivant l'allure et suivant la nature et la grosseur du charbon.

Les mâchefers mis au début reposent sur une *sole tournante*, suivant le talus d'éboulement naturel. Dès qu'on imprime à celle-ci un mouvement de rotation, ils tombent peu à peu dans le

cendrier, toute la masse de combustible descend et les nouveaux mâchefers prennent la place des anciens.

De cette façon, tout déchet de combustible est complètement supprimé et la sole ne se trouvant pas en contact avec le charbon incandescent n'est exposée à aucune détérioration.

On peut activer l'éboulement des mâchefers, si cela est nécessaire, au moyen de barres de fer que l'on enfonce plus ou moins dans la masse en les introduisant par les regards ménagés à cet effet sur l'enveloppe du gazogène.

Le premier allumage d'un gazogène demande 30 à 40 minutes.

Après la mise en marche, le service de l'installation se réduit aux chargements périodiques du gazogène, à intervalles de 2 à 3 heures suivant la nature du combustible employé. L'ouvrier chargé de ce travail s'assure que les arrivées d'eau au laveur et au vaporisateur fonctionnent régulièrement ; il enlève les cendres sous le foyer procède aux piquages et aux décrassages s'il y a lieu. (Avec du charbon de bonne qualité, ces deux dernières opérations sont peu fréquentes).

La cuve de trop plein d'eau doit être nettoyée une fois par semaine.

La colonne à coke doit être vidée et nettoyée tous les six mois et remplie par du nouveau coke soigneusement criblé. Le coke qui a été retiré du laveur peut, après séchage, être brûlé dans le gazogène.

A l'arrêt du gazogène on ouvre la cheminée d'allumage et on manœuvre le robinet d'arrivée d'air de façon à isoler le foyer du vaporisateur et du ventilateur ; on ferme le robinet du tuyau d'introduction d'eau sous la grille et on règle celui d'admission d'eau au vaporisateur de manière que celui-ci *ne manque jamais d'eau* (il suffit que l'eau tombe goutte à goutte dans la boîte de distribution).

Le foyer est maintenu allumé par le tirage naturel de la cheminée, l'air nécessaire étant réglé au moyen du papillon qui ferme le trou de décrassage percé dans la porte du foyer ou par une ouverture plus ou moins grande de la vanne de la cheminée. C'est la marche à *feu dormant* qui se continue lentement pendant

la nuit et les périodes de repos. Pour remettre le gazogène en action il suffit alors de décrasser légèrement le feu, de souffler pendant cinq à dix minutes avec le ventilateur pour aviver le foyer et de recharger le gazogène de combustible frais. On peut aussitôt remettre le moteur en marche.

RECOMMANDATIONS SPÉCIALES AUX MÉCANICIENS

1. En chargeant le générateur, *ne jamais ouvrir en même temps la soupape du fond de la trémie et le couvercle supérieur de cette trémie*. Ce serait très dangereux. Fermer toujours la soupape avant d'ouvrir le couvercle. Ne pas placer la tête au-dessus de la trémie afin de ne pas respirer le gaz qui peut s'y trouver.

Manœuvrer plusieurs fois de haut en bas, après chaque chargement, la poignée qui commande la soupape et presser cette soupape sur son siège pour faire un joint bien étanche.

2. En piquant le feu, éloigner la tête de la porte, afin de se garer contre toute flamme qui pourrait en sortir.

3. Ne jamais ouvrir en quelque endroit une ouverture quelconque, quand le ventilateur fonctionne, car le gaz est toxique.

4. En procédant au démontage du gazogène pour le nettoyage s'assurer que le feu est complètement éteint et que tous les organes ont été auparavant bien ventilés.

5. Conserver toujours *couvert* le combustible, ne l'introduire que sec dans le générateur.

6. Quand le gazogène est arrêté et que le feu est entretenu dans le générateur, *laisser toujours arriver un peu d'eau dans le vaporisateur*, pour y maintenir le niveau constant. Si, en effet, l'arrivée d'eau était supprimée, l'eau du vaporisateur serait, à un moment donné, évaporée tout entière et la chaleur fendrait le vaporisateur mis à sec.

7. En cas de fentes dans le revêtement de briques, les réparer avec du *coulis réfractaire* (1).

(1) Les constructeurs de gazogènes fournissent ce *coulis réfractaire* tout préparé ; on peut le remplacer par un mélange de fibres d'amiante et de terre à four ou terre réfractaire. Un gazogène ainsi réparé doit sécher lentement pour que la réparation soit durable.

8. Si la partie supérieure du gazogène et les tuyaux s'échauffent par trop, c'est qu'il y a une entrée d'air dans le générateur ; dans ce cas, les ouvertures de la trémie et tous les joints devront être soigneusement vérifiés ainsi que l'intérieur du briquetage.

9. Le ventilateur devra être tenu propre et bien graissé. Les engrenages tournent dans un bain d'huile et un bouchon est placé près du fond de la boite à engrenages dans le but de la remplir d'huile. Un autre bouchon est placé dans le fond pour laisser s'égoutter au dehors toute l'huile sale, quand il est reconnu nécessaire de renouveler le bain d'huile. Il est important que le ventilateur soit mis en marche et arrêté *lentement ;* autrement les dents des pignons peuvent être avariées. Le nombre de tours à la manivelle du ventilateur devra être d'environ 50 *à la minute*, mais pas davantage.

10. Quand le gazogène doit être complètement nettoyé et dégarni, il doit être arrêté et le feu tout à fait éteint. On soufflera de l'air à travers le gazogène au moyen du ventilateur, puis on ouvrira les portes et on laissera l'appareil ainsi pendant plusieurs heures. Tout le nettoyage *devra être fait en plein jour* ; *éviter de fumer et de se servir de bougies allumées* à côté du gazogène ; assurer un renouvellement constant de l'air ambiant ; deux hommes devront toujours être présents, en cas d'accident à l'un d'eux ; il y aurait à redouter une asphyxie ou intoxication due à l'oxyde de carbone, si les précautions ci-dessus n'étaient pas observées.

11. Examiner tous les joints du gazogène, et enlever tous dépôts qui auraient pu se former autour d'eux ; bien sécher l'intérieur du réservoir de gaz, généralement pourvu d'un robinet de purge d'eau de condensation.

ENTRETIEN DES GAZOGÈNES

Quand le feu est bien conduit, il est possible de laisser un gazogène en fonction pendant plusieurs mois consécutifs, quelquefois plus de six mois, sans éteindre le foyer. Quand on met bas le feu, l'entretien se borne au changement des barreaux de grille qui

peuvent être brûlés et au remplacement des terres réfractaires si elles sont en mauvais état : ces remplacements ne sont généralement nécessaires qu'après plusieurs années de service.

Le nettoyage des colonnes à coke et des épurateurs chimiques se fait aux époques indiquées par le constructeur de l'appareil (1).

Le ramonage de la cheminée, le nettoyage des canalisations de gaz en vue de les purger des cendres et goudrons, se font plus ou moins fréquemment, selon la nature du combustible employé. Les canalisations sont munies à cet effet de *tampons-regards* à chaque coude des tuyaux.

Le ramonage des tubes en fer dans lesquels passe le gaz à partir de la cuve du gazogène jusqu'aux appareils d'utilisation est très important ; entre le gazogène et le laveur il se forme des dépôts de cendres ; entre le laveur et le moteur il se dépose des goudrons ; ces dépôts empêchent le libre passage du gaz et nuisent à la bonne marche de l'installation ; spécialement les tubes entre le générateur et le laveur doivent être visités au moins toutes les semaines si l'on emploie un charbon faisant beaucoup de cendres.

Les constructeurs de gazogènes fournissent les dalles en terre réfractaire de la forme voulue, les barreaux de grille de rechange et les instructions détaillées sur la conduite des appareils.

Il faut bien remarquer que, tout au moins dans les petites installations, la marche du gazogène se fait automatiquement et ne nécessite pas la présence constante d'un chauffeur. Un ouvrier quelconque, dressé à cet emploi, soigne le gazogène *tout en faisant un autre travail*, ce qui réalise une première et importante économie sur la machine à vapeur.

ENTRETIEN DES LAVEURS ET ÉPURATEURS

Dans les appareils munis de laveurs en fonte à compartiments et ne comportant généralement pas d'épurateur à sciure, le compartiment du bas seul est garni de coke de la grosseur d'une

(1) La colonne à coke se nettoie tous les 4 à 6 mois et l'épurateur chimique se recharge toutes les semaines avec de la matière neuve ou revivifiée par une longue exposition à l'air.

noix (coke de four) ; les autres compartiments sont remplis de copeaux de chêne ou de fibre de bois. Celle-ci doit être bien tassée dans chaque compartiment et aussi également que possible. Les compartiments doivent être presque pleins. Dans les scrubbers ordinaires à coke, on doit s'arranger à garnir la grille de morceaux de coke de la grosseur d'une pomme, sur une hauteur d'un mètre environ, et le reste en coke plus petit (ne jamais se servir de coke de gaz). Les joints des portes des laveurs doivent être faits exclusivement au mastic Serbat et jamais à l'amiante.

Les épurateurs doivent être garnis de la façon suivante :

Placer sur les grilles en bois une toile d'emballage (toile à grandes mailles), puis, sur cette toile, étendre une couche de 10 centimètres environ d'épaisseur de petits copeaux de raboteuse ou de dégauchisseuse et ensuite remplir avec de la *grosse sciure*, jusqu'à quelques centimètres du tuyau d'arrivée de gaz.

Suivant les charbons employés, il faut nettoyer le coke du laveur ou le changer ainsi que les copeaux *au moins* tous les 6 mois. La sciure peut aussi n'être changée que tous les 6 mois si le charbon employé contient peu de matières volatiles condensables. Avoir bien soin de faire un joint parfait sous le couvercle de l'épurateur. Le mieux est d'employer une corde molle goudronnée dont on fait un anneau fermé par une épissure soigneusement exécutée. Cette corde doit passer *exclusivement* à l'intérieur des trous de boulons de la cornière, sans cela il y aurait entrée d'air par les trous de boulons. Tous les 6 mois, faire un ramonage de tous les tubes jusqu'à l'épurateur. Démonter la vanne de cheminée tous les mois, la nettoyer et graisser soigneusement la vis, s'assurer que le clapet est fou sur la vis et ne tourne pas avec elle. Lorsque la corde d'amiante du clapet a perdu toute élasticité, la changer. Il est indispensable que la cheminée soit parfaitement étanche. Il en est de même des tampons de piquage et du joint de trémie. Tous ces joints doivent être entretenus au moyen de *graisse Belleville*. Le ventilateur doit avoir son carter plein d'huile de bonne qualité ; on doit veiller à ce que tous ses mouvements soient bien graissés. Bien graisser

également les vis des portes de cendrier, des trous de piquage, etc. Lorsqu'on change le coke du laveur ou la sciure de l'épurateur, on doit en profiter pour goudronner les tôles afin d'éviter leur corrosion.

DÉTARTRAGE DES VAPORISEURS

On enlève le tartre, avec un racloir de forme appropriée, par les portes de nettoyage dont doit être pourvu le vaporiseur. Quand l'eau employée est calcaire, ce nettoyage peut être nécessaire toutes les semaines.

ÉPURATION COMPLÈTE DU GAZ

Le gaz, même lorsqu'il est produit par de l'anthracite, n'est jamais assez propre à sa sortie du gazogène pour être utilisé dans un moteur ou distribué dans des canalisations de faible diamètre sans avoir subi une épuration préalable, car il contient toujours de fines poussières de charbon, des cendres, un peu de suie et des traces de goudron.



Fig. 10.
Scrubber ou laveur à coke (Crossley).

L'expérience a prouvé qu'un simple lavage du gaz est généralement insuffisant et que l'on ne peut obtenir du gaz propre que si l'on fait une épuration méthodique et complète.

Une bonne épuration comprend les opérations suivantes :

Refroidissement progressif du gaz dans des refroidisseurs ;

Brassage énergique dans un ventilateur-épurateur ;

Lavage et barbotage dans un scrubber à coke ;

Filtration lente dans un épurateur à grande surface.

En opérant ainsi, on obtient toujours,

même avec les charbons maigres de qualité courante, du gaz parfaitement épuré, n'encrassant ni les robinets ni les fentes les plus étroites des brûleurs, et permettant de réaliser d'une façon certaine la marche continue des moteurs.

Voici, d'après MM. Fichet et Heurtey, la disposition de ces appareils ; nous en avons, d'ailleurs, représenté la coupe schématique sur la figure 11 ci-contre.

REFROIDISSEURS. — Ils sont constitués dans les installations de grande puissance, par une ou plusieurs colonnes à plateaux superposés, formant chicanes et arrosés d'eau.

Le gaz chaud se refroidit en traversant méthodiquement ces nappes de liquide, et les poussières mouillées sont entraînées en grande partie par le courant d'eau.

Ce dispositif est particulièrement avantageux au point de vue de la faible dépense d'eau de refroidissement.

Dans les installations de faible importance, ces colonnes sont généralement remplacées par un certain nombre de tuyaux verticaux en fonte, dans lesquels on dispose des pulvérisateurs d'eau à la partie supérieure. Ces pulvérisateurs, à faible débit, projettent l'eau en gouttelettes très fines dans toute la section des refroidisseurs.

VENTILATEUR-ÉPURATEUR. — Cet appareil est un nettoyeur de gaz très efficace ; suivant les cas on peut le commander par courroie ou directement par moteur électrique.

Il sert en même temps à aspirer le gaz du gazogène et à donner la pression suffisante pour l'envoyer au gazomètre et dans les conduites de distribution.

L'épuration du gaz se fait en injectant de l'eau par un ou plusieurs ajutages dans l'ouïe du ventilateur ; sous l'action de la force centrifuge, le gaz subit un brassage énergique et les poussières mouillées sont projetées contre les parois, puis entraînées par le courant d'eau sale.

Le ventilateur-épurateur est un appareil à rendement élevé, établi spécialement pour l'épuration du gaz et construit en vue d'un nettoyage rapide et facile de la turbine, sans qu'il soit nécessaire de démonter aucune tuyauterie. A cet effet la flasque

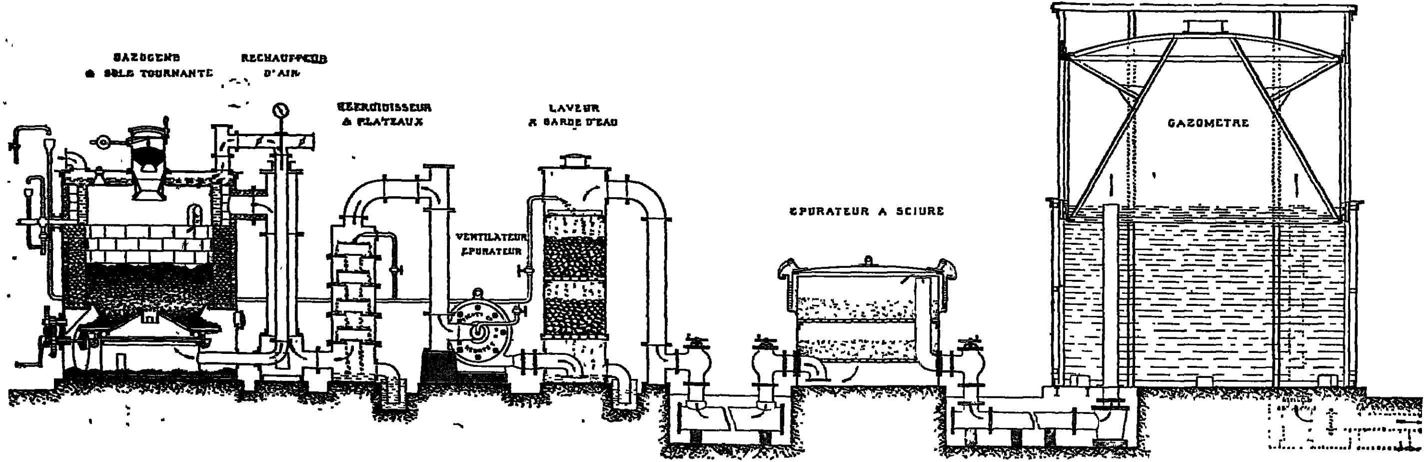


Fig. 11. — Installation d'un gazogène à sole tournante de MM. Fichet et Heurtey avec tous les accessoires de refroidissement et d'épuration du gaz pauvre.

opposée à l'ouïe d'aspiration sert de support aux paliers, en sorte qu'il suffit d'enlever quelques écrous pour la démonter et pour retirer en même temps la turbine et son arbre.

Cette question de rapidité de démontage est surtout importante quand on emploie certains combustibles, tels que le grésillon de coke de gaz qui contient toujours des goudrons lourds provenant d'une distillation incomplète.

La turbine en acier fondu recuit, inattaquable aux gaz est équilibrée ; les paliers sont à graissage à bagues.

Ce ventilateur donne aussi d'excellents résultats pour l'épuration du gaz de hauts-fourneaux et de fours à coke.

Laveur a garde d'eau. — La base de cet appareil comporte une garde d'eau à grand développement, empêchant automatiquement, en cas d'arrêt du ventilateur, le retour en arrière du courant gazeux sous la pression du gazomètre.

Le gaz, après avoir traversé cette garde d'eau, passe dans une série de couches de coke arrosées par une pulvérisation d'eau.

Ce laveur sert principalement à arrêter les gouttelettes d'eau sale en suspension dans le gaz à sa sortie du ventilateur et à compléter son refroidissement.

Épurateur a surface. — Cet épurateur, analogue à ceux qui sont employés pour la fabrication du gaz d'éclairage, est de forme restangulaire ou cylindrique ; la cuve peut être en fonte, en tôle ou en ciment armé, avec couvercle à joint boulonné ou à fermeture hydraulique. Il sert à sécher le gaz et à retenir les dernières traces de poussières très ténues qui auraient échappé aux appareils précédents. On emploie comme matière filtrante deux ou trois couches superposées de grosse sciure de bois, uniformément tassée, sur une claie recouverte de fibre.

Quand on veut épurer chimiquement le gaz, c'est-à-dire le débarrasser des produits sulfureux qu'il contient, on remplace la sciure par de l'oxyde de fer ou par de la matière Laming, qu'il faut avoir soin de revivifier fréquemment en l'exposant à l'air.

S'il y a lieu d'obtenir une épuration chimique complète, on doit disposer trois épurateurs en série avec les tuyauteries permettant

la circulation méthodique du gaz au fur et à mesure de l'épuisement de l'oxyde.

Dans une installation comportant plusieurs groupes, le nombre des épurateurs est indépendant de celui des gazogènes ; la surface totale de filtration nécessaire varie d'ailleurs essentiellement avec la qualité du combustible et la nature de la matière épurante ; elle doit en tout cas correspondre à une vitesse assez lente du courant pour que le gaz y abandonne la plus grande partie des produits sulfureux et y dépose les plus fines poussières qu'il peut encore contenir.

A la sortie des épurateurs, le gaz est utilisé soit pour effectuer divers chauffages, soit pour actionner des moteurs. Un gazomètre, destiné à régulariser la pression, est généralement branché sur la conduite de distribution.

Tous les appareils ci-dessus sont munis de portes et de tampons de visite pour permettre le nettoyage rapide, de purgeurs pour l'évacuation des eaux de condensation et de robinets pour la mesure des pertes de charge.

Les appareils d'épuration que nous venons de décrire conviennent, avec certaines modifications, pour le traitement du gaz fourni par des combustibles plus riches en matières volatiles que les charbons maigres.

Le refroidisseur a une importance plus grande, puisqu'il doit servir à condenser les goudrons ; il rappelle, par sa disposition générale, les jeux d'orgue utilisés dans la fabrication du gaz d'éclairage.

Si les charbons contiennent assez d'azote pour que la récupération des produits ammoniacaux puisse être envisagée, il y a lieu d'établir des appareils de condensation semblables à ceux qui sont en usage pour l'épuration du gaz de fours à coke et dont l'emploi permet de récupérer dans les eaux de lavage une proportion notable de sulfate d'ammoniaque.

ÉPURATION DES GAZ DE HAUTS-FOURNEAUX ET DE FOURS A COKE

On applique les mêmes principes pour l'épuration des gaz de hauts-fourneaux ou de fours à coke destinés à alimenter les moteurs à gaz ; la disposition des appareils comporte pourtant quelques modifications.

Le ventilateur-épurateur à injection d'eau est toujours l'organe le plus énergique ; on en place quelquefois deux à la suite l'un de l'autre, en les séparant par une boîte d'évacuation des eaux sales ou bourbeuses, quand il s'agit de retenir des poussières fines et légères.

Pour que ces appareils travaillent dans les meilleures conditions, le gaz doit y être amené complètement froid, sinon l'épuration serait incomplète et le volume à débiter par les ventilateurs se trouverait inutilement augmenté.

Les scrubbers ou laveurs comportent plusieurs couches de coke, dont la dernière forme sécheur et retient les gouttelettes d'eau entraînées par le courant gazeux. Il est en effet important, au point de vue du rendement calorifique, que le gaz soit aussi sec que possible avant son utilisation.

Ces dispositifs ont été appliqués par MM. Fichet et Heurtey à l'épuration du gaz de haut-fourneau dans trois installations de 1.500, de 8.000 et de 12.000 mètres cubes à l'heure en service dans les Usines d'*Enakievo* de la *Société Russo-Belge*, où ils ont donné les meilleurs résultats.

Cette dernière installation, dont la disposition est représentée ci-contre, est caractérisée en particulier par l'emploi de ventilateurs-épurateurs à axe vertical.

Elle est formée de deux groupes identiques, correspondant chacun à l'épuration de 6.000 mètres cubes de gaz. Le gaz venant du haut-fourneau traverse un premier cylindre formant chambre de dépôt des poussières ; il est ensuite aspiré par un ventilateur-épurateur à axe vertical à injection d'eau qui le refoule vers les moteurs. Cet appareil est disposé pour qu'on puisse le visiter et le nettoyer sans démonter aucune tuyauterie de gaz.

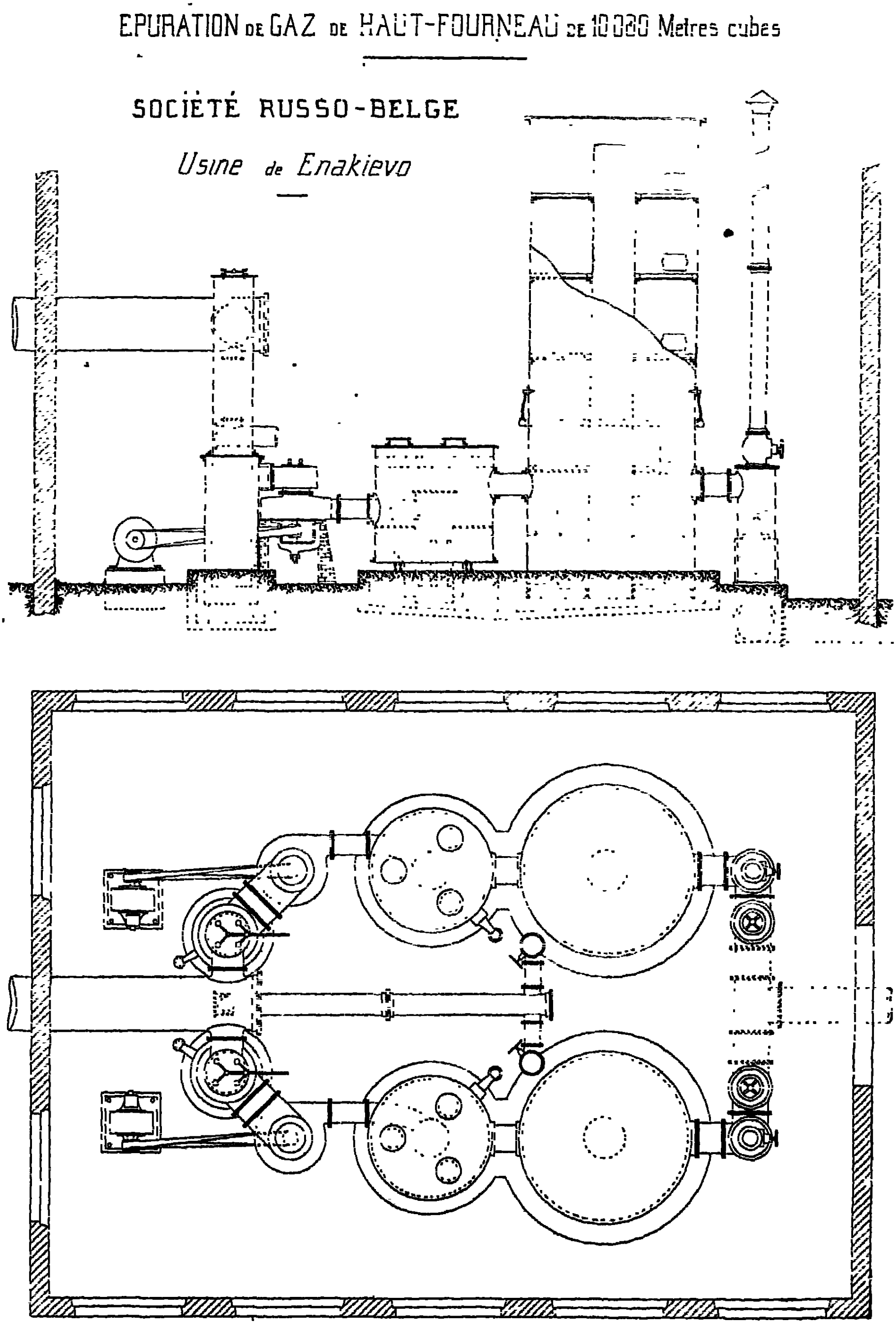


Fig. 12.— Épuration de gaz de haut-fourneau de 10.000 mètres cubes (Société Russo-Belge).

En sortant du ventilateur, le gaz passe dans une caisse à chicanes, formées par des séries de couches de billes en biscuit, et arrive dans un grand laveur à garde d'eau, surmonté d'un sécheur à coke [1].

Des vannes d'isolement sont disposées dans chaque groupe pour pouvoir mettre l'un ou l'autre hors circuit, en cas de nettoyage des appareils.

Extracteur centrifuge de goudron par injection d'eau (*Crossley*). — Cet appareil est un ventilateur spécialement adapté pour la séparation et la récupération des goudrons.

L'eau arrivant des deux côtés par le centre de l'impulseur, est lancée à la périphérie de l'enveloppe en même temps que le gaz. Les vapeurs et le goudron sont condensés et extraits par l'action combinée de l'eau et des lames de l'impulseur. L'eau nettoie les lames automatiquement et entraîne les globules de goudron qui viennent se déposer sur l'enveloppe. Le goudron est récolté dans un tuyau d'évacuation qui forme joint hydraulique fixé sur l'enveloppe extérieure de l'appareil.

---

[1] On emploie aussi des filtres à sciure de bois pour retenir les dernières poussières qui auraient échappé à l'action du ventilateur à eau.

La force exigée par le ventilateur est variable entre $\frac{1}{100}$ et $\frac{1}{150}$ de la puissance du moteur à alimenter.

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DE QUELQUES GAZOGÈNES EMPLOYANT L'ANTHRACITE, LES CHARBONS OU LE COKE

GAZOGÈNE FICHET ET HEURTEY A SOLE TOURNANTE ET A DÉCRASSAGE AUTOMATIQUE

Le gazogène proprement dit est formé d'un cylindre en tôle étanche, fermé par un couvercle en fonte ou en tôle garni intérieurement d'un cuvelage réfractaire qui repose sur un plateau en fonte soutenu par des consoles ou des colonnes. La partie supérieure est terminée par une voûte réfractaire au centre de laquelle est placé l'appareil de chargement. Celui-ci est une trémie à double fermeture, constituée par une boîte cylindrique en fonte, fermée en bas par un cône et en haut par un couvercle faisant serrage au moyen d'un levier à excentrique. Un ou plusieurs cônes de distribution répartissent le charbon sur toute la surface de la cuve.

Des trous disposés sur le couvercle du gazogène et des regards étagés sur sa paroi verticale permettent de vérifier en marche l'état et l'allure de la combustion, et d'empêcher, au moyen de barres de piquage, le collage de gros mâchefers contre la garniture réfractaire, s'il venait à s'en produire.

Le gazogène Fichet et Heurtey, sauf dans des cas tout à fait spéciaux, ne comporte pas de grille fixe et est muni à sa partie inférieure de la *sole tournante*.

Ce dispositif est caractérisé par le fait qu'aucune pièce métallique n'est en contact avec le combustible :

Une couche de mâchefers, répartie sur une sole en fonte et maintenue par une trémie conique, disposée dans le prolongement de la cuve réfractaire, remplace la grille proprement dite. Cette trémie s'arrête à une certaine distance de la sole, pour permettre aux mâchefers de s'ébouler suivant leur talus naturel.

La sole, montée sur boulets, est munie à sa partie inférieure d'une couronne dentée, engrenant avec un pignon conique fixé sur un arbre horizontal que l'on peut facilement actionner de l'extérieur au moyen d'une manivelle.

Elle est traversée en son centre par un tuyau vertical, qui lui sert de guidage dans son mouvement de rotation et amène au foyer l'air de combustion. Ce tuyau est surmonté d'un chapeau en fonte pour empêcher qu'il ne soit obstrué par les cendres et mâchefers et pour faciliter la réparation de l'air dans la masse.

Au fur et à mesure de la combustion du charbon, le niveau inférieur du feu monte peu à peu et la couche de mâchefers et de cendres augmente de hauteur.

En faisant tourner la manivelle, on provoque, par la rotation de la sole, la chute, dans le cendrier, d'une certaine quantité de mâchefers, et on détermine ainsi la descente de la masse du combustible.

Les regards disposés sur la paroi du gazogène permettent de surveiller le décrassage et de l'arrêter lorsque le feu a repris son niveau normal ; de grandes portes de visite servent à l'enlèvement des cendres et mâchefers, dans le cendrier, et au besoin sur la sole.

Dans certains cas, une partie de la sole est grillée de façon à faciliter la chute des cendres au fur et à mesure de leur production ; le tuyau central est alors supprimé et l'air admis dans le cendrier peut être dirigé soit sur toute la surface du foyer, soit seulement sur la partie centrale de la sole grillée.

La construction de la partie inférieure du gazogène est quelquefois modifiée lorsqu'il s'agit de brûler des charbons très cendreux ou contenant beaucoup de pierres. Le plateau circulaire qui soutient la cuve réfractaire est alors porté par des colonnes et la virole inférieure du gazogène, suspendue par des chaînes à

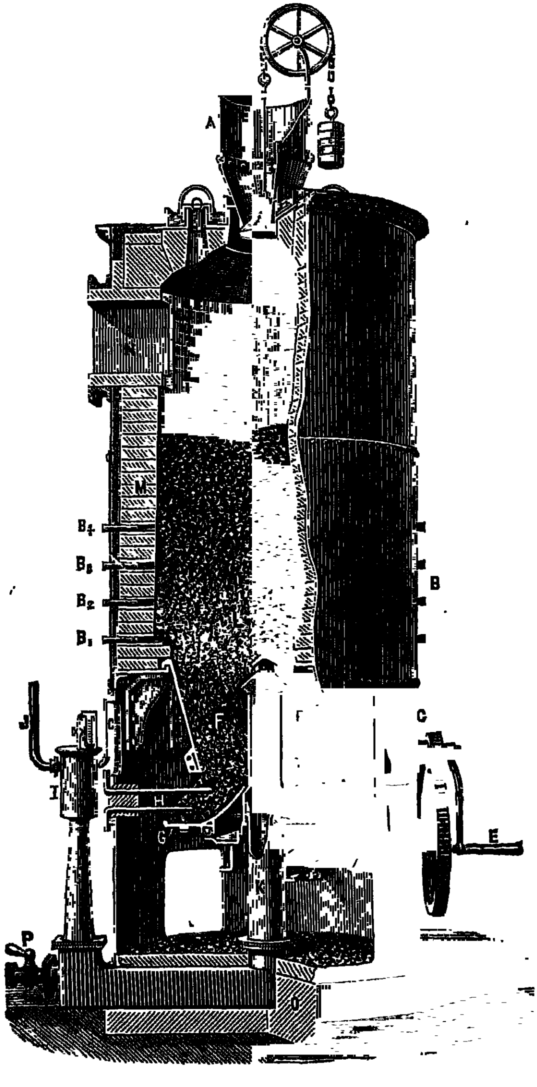


Fig. 13. — Gazogène à sole tournante de MM. Fichet et Heurtey.

A, Trémie de chargement. — B, regards. — C, Portes de service. — D, Porte de sortie des cendres. — E, Manivelle de décrassage. — F, Trémie remplie de scories. — G, Sole tournante. — H, Barres de décrassage. — I, Injecteur d'air. — J, Tuyau d'arrivée de la vapeur. — K, Conduit d'air soufflé. L, Combustible incandescent. — M, Garnissage en briques réfractaires. — N, Départ du gaz. — O, Soubassement. — P, Purgeur.

des poulies supérieures, peut être levée, ce qui met à découvert la sole et le cendrier. L'étanchéité est obtenue par deux joints hydrauliques, l'un dans le cendrier, l'autre au niveau du plateau circulaire ; cette virole est équilibrée par des contrepoids et il suffit d'un effort relativement faible pour la faire monter ou descendre.

Ce dispositif permet l'enlèvement plus rapide des cendres et mâchefers et facilite l'opération du décrassage.

Pour certaines applications, nécessitant la *marche absolument continue* d'un gazogène pendant plusieurs mois, sans aucun arrêt dans la production du gaz, on dispose un peu différemment le cendrier ; le gazogène est monté sur des colonnes ou des murettes, et on remplace son fond par un cône qui plonge à sa partie inférieure dans un bassin rempli d'eau. Les cendres et les mâchefers rejetés par le mouvement de la sole tombent dans ce bassin et sont enlevés par une raclette ou une vis sans fin, sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir aucune porte et d'interrompre la production du gaz.

En partant des principes ci-dessus, MM. Fichet et Heurtey construisent cinq types de gazogènes :

1° *Le gazogène soufflé alimenté par un souffleur à vapeur ;*

2° *Le gazogène muni d'un récupérateur tubulaire pour la production du gaz mixte ;*

3° *Le gazogène autoproducteur de vapeur marchant soit en pression, soit en aspiration avec ventilateur ;*

4° *Le gazogène par aspiration directe du moteur à gaz ;*

5° *Le gazogène à double combustion.*

Comme ces divers types comportent, à peu de chose près, les mêmes modes de chargement et de décrassage, nous ne signalerons que les autres points qui les caractérisent.

GAZOGÈNE FICHET ET HEURTEY SOUFFLÉ PAR UN SOUFFLEUR A VAPEUR

L'entraînement de l'air et son humidification sont produits par un *souffleur*, alimenté soit par un générateur de l'usine, soit par une petite chaudière spéciale.

Ce souffleur comporte un dispositif de réglage de la vapeur et de l'air pour permettre de modifier à volonté le degré d'humidification, suivant la nature du combustible et suivant l'allure du foyer.

Il est utile pour assurer la régularité de production de gaz, surtout si le générateur de vapeur est sujet à de brusques variations de pression, de disposer avant le souffleur un détendeur de vapeur. Il faut aussi avoir soin d'employer de la vapeur sèche, pour éviter les à-coups dans la marche du souffleur ; et même, dans certains cas, il est avantageux de la surchauffer entre le détendeur et le souffleur.

Un gazogène soufflé peut aussi être alimenté par un ventilateur, mais le souffleur est plus généralement employé, parce qu'il assure en même temps l'humidification de l'air et ne nécessite pas l'emploi d'une force motrice extérieure. Le gaz, obtenu sous une pression que l'on règle à volonté, suivant les applications, entre quelques millimètres et quelques centimètres d'eau, est envoyé sous cette pression uniforme dans les conduites et peut, une fois épuré, être distribué à de longues distances comme le gaz d'éclairage.

Applications. — Le gazogène soufflé avec souffleur à vapeur est employé surtout quand on peut utiliser le gaz chaud. Les conduites de gaz sont, autant que possible, enterrées dans le sol ou calorifugées avec soin, de façon à éviter toute déperdition de chaleur.

Le souffleur permet de maintenir dans le canal de gaz une pression constante de quelques millimètres d'eau, suffisante pour assurer le débit régulier des divers brûleurs. On installe souvent un gazogène par four, mais on peut aussi réunir les appareils en batterie sur une même conduite et alimenter une série de fours.

Ce type de gazogène convient spécialement au chauffage des fours métallurgiques et des fours de verreries, à la cuisson des produits céramiques, de la porcelaine et des grès, à la fabrication de la chaux et du ciment, au grillage des minerais, d'une façon générale aux industries chimiques et aux diverses opérations des usines à plomb, cuivre, etc.

Nous citerons à titre d'exemple les importantes installations des *Soudières de Varangéville.* Elles comportent cinq gazogènes soufflés réunis par un grand collecteur, sur le par-

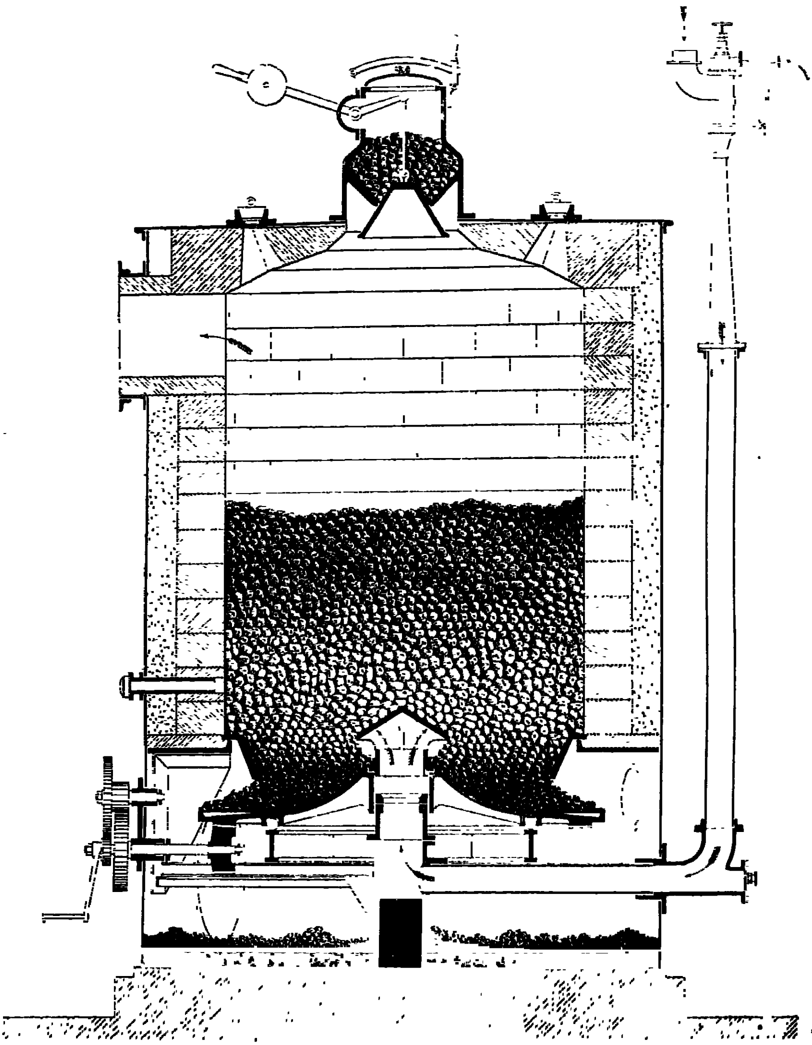


Fig. 14. — Gazogène Fichet et Heurtey à sole tournante soufflé par souffleur à vapeur.

cours duquel est disposée une chambre de dépôt de poussières avant l'arrivée du gaz aux fours.

Dans toutes ces installations, le gaz est utilisé chaud, tel qu'il sort du gazogène, et sans nettoyage préalable.

GAZOGÈNE FICHET ET HEURTEY, AVEC RÉCUPÉRATEUR TUBULAIRE

Nous avons vu précédemment que la puissance calorifique du gaz fourni par un gazogène est d'autant plus élevée que l'on décompose une plus grande quantité de vapeur d'eau.

On peut arriver à ce résultat en surchauffant préalablement l'air humide par la chaleur des gaz sortant du gazogène; on améliore ainsi la qualité du gaz sans dépense nouvelle de charbon, et on augmente par conséquent le rendement de l'appareil. Ce principe n'est en général appliqué que quand on dispose pour le soufflage d'une source de vapeur indépendante et lorsque les gaz doivent être refroidis et lavés avant leur utilisation, puisqu'on récupère ainsi des calories qui, sans cela, seraient perdues.

La disposition adoptée ici consiste à établir à la suite du gazogène, un réchauffeur tubulaire de l'air soufflé, monté sur un socle à cendres ; le gaz sortant du gazogène est amené à la partie supérieure du réchauffeur par un canal doublé de briques, il descend dans les tubes du faisceau, tandis que l'air soufflé se réchauffe autour des tubes. Cet appareil est soigneusement calorifugé et son rendement est très élevé ; suivant les cas, la marche de l'air est ascendante ou descendante.

Ce dispositif permet de porter la température de l'air soufflé jusqu'à 200 et même 250 degrés.

Lorsque la vapeur est fournie par une chaudière éloignée du gazogène, on la sèche, en la faisant passer avant son arrivée au souffleur, dans un surchauffeur disposé dans la partie supérieure du faisceau tubulaire ou dans un serpentin chauffé par un brûleur spécial.

Bien entendu, il y a lieu de ne brûler que des charbons maigres dans un gazogène muni d'un *récupérateur tubulaire,* car les produits de distillation de houilles un peu grasses se condenseraient sur la paroi des tubes du faisceau et nécessiteraient un nettoyage trop fréquent.

Cet inconvénient n'est pas à craindre quand le combustible est maigre, il suffit de brosser les tubes une ou deux fois par mois pour les maintenir en parfait état.

Ce récupérateur est établi avec joint de dilatation ; cette précaution suffit pour éviter toute détérioration et lui assurer un long usage.

Dans certains cas on emploie aussi comme récupérateur une caisse annulaire métallique ou un serpentin disposé sous la voûte du gazogène, à la partie supérieure de la cuve réfractaire.

La surchauffe de l'air humide améliore beaucoup la qualité du gaz par suite de sa plus forte teneur en hydrogène et d'une diminution d'azote, sans dépense nouvelle de combustible.

La puissance calorifique du gaz mixte obtenu est en moyenne de 1.350 calories et dépasse même 1.400 calories par mètre cube ; sa qualité se maintient remarquablement constante, même avec de grandes variations dans le débit de l'appareil.

Le gazogène que nous venons de décrire peut aussi être soufflé par un ventilateur, si l'on humidifie l'air avec de la vapeur à basse pression ou même détendue.

Les conditions de fonctionnement avec un ventilateur sont exactement les mêmes qu'avec un souffleur et la nature du gaz ne se trouve pas modifiée ; il suffit de régler le degré d'humidification avant son chauffage. Ce dispositif est employé lorsqu'on n'a pas de vapeur sous pression et qu'on peut utiliser de la vapeur d'échappement. A défaut de vapeur détendue, on peut encore faire passer le courant d'air sur l'eau chaude pour le saturer.

Dans certains cas, le ventilateur soufflant est remplacé, comme nous le verrons plus loin, par un ventilateur aspirant le gaz, formant en même temps épurateur.

APPLICATIONS. — Le gaz mixte à haute puissance calorifique obtenu par le gazogène Fichet et Heurtey avec récupérateur tubulaire peut être employé à toutes les opérations de chauffage et à la production de la force motrice avec moteur à gaz.

Il peut ainsi remplacer le gaz de ville après avoir subi comme lui une épuration complète ; il brûle à froid et sa flamme se maintient même dans un courant d'air.

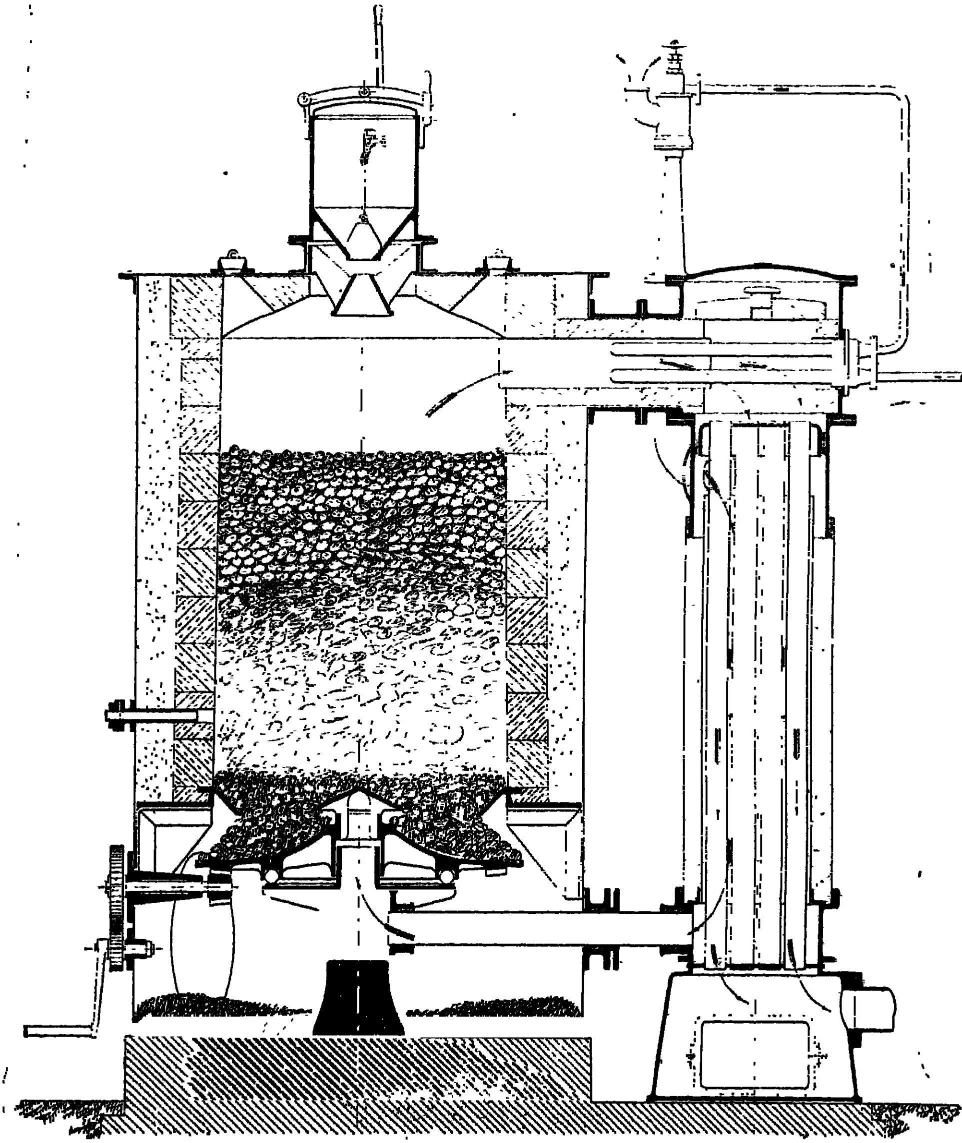


Fig. 15. — Gazogène Fichet et Heurtey à sole tournante avec récupérateur tubulaire.

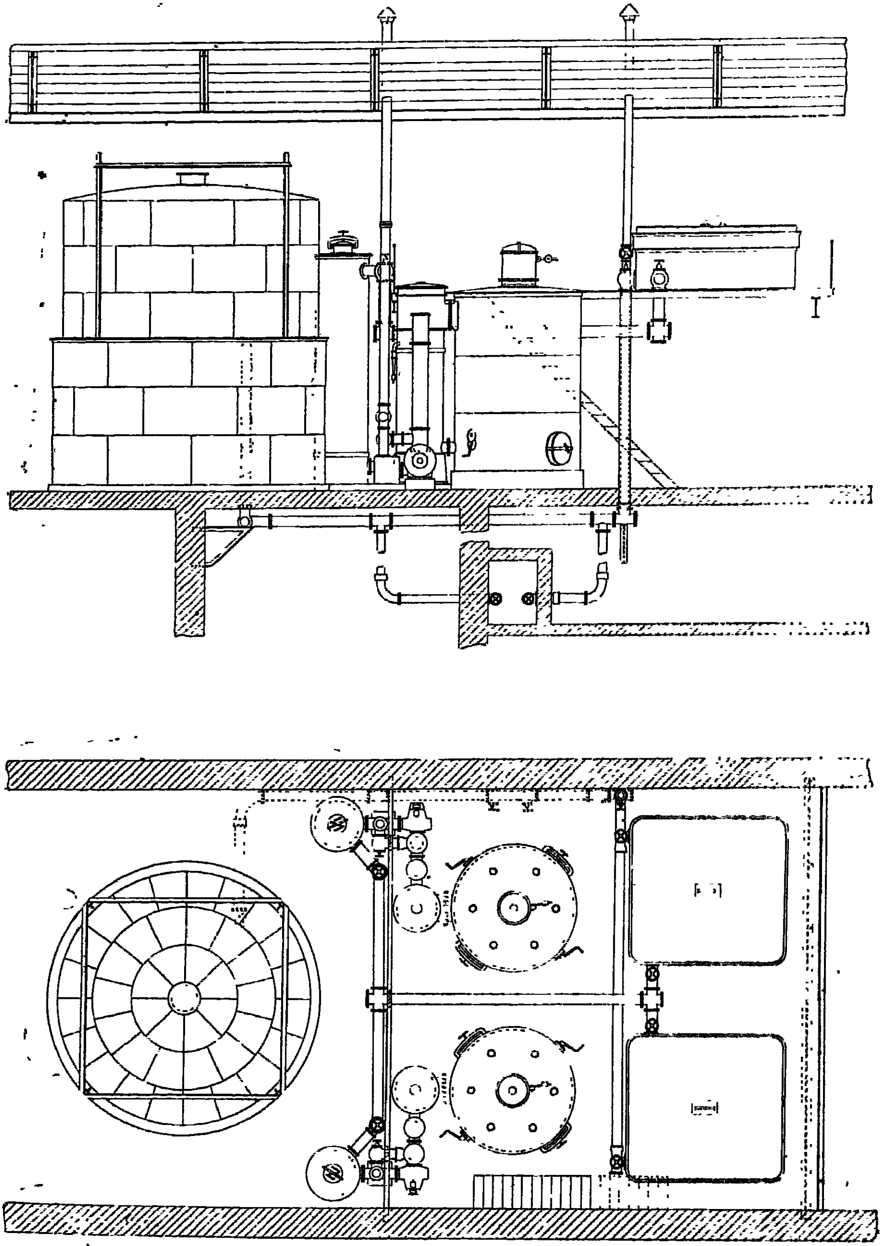


Fig. 16. — Installation de gaz mixte de 900 mètres cubes à l'heure (Manufacture française d'armes et cycles à Saint-Etienne).

Comme industries utilisant avec succès cet appareil, nous pouvons citer la fabrication des caractères d'imprimerie, des plombs pour plombage de sacs ou wagons; des câbles téléphoniques ou télégraphiques sous plomb : le chauffage des fers à souder, des chalumeaux à braser ; le recuit et la trempe des aciers ; la préparation des vernis et émaux ; le chauffage des étuves à émailler et des séchoirs ; le recuit et le travail du verre et du cristal et dans l'industrie des produits chimiques les concentrations et le chauffage des fours divers.

Une application intéressante est celle du grillage des fils de coton, où le gaz mixte a pu être substitué au gaz d'éclairage sans modification sensible des machines à griller. Dans un atelier de ce genre on peut voir en service plus de mille brûleurs dont les fentes ont à peine 1 millimètre de largeur et qui donnent de petites flammes traversées par un fil à griller ; ces rampes de brûleurs se maintiennent allumées pendant toute la journée et n'incommodent aucunement le personnel.

On a pu vérifier pratiquement l'économie de combustible réalisé par le récupérateur tubulaire dans une usine de produits chimiques où sont montés deux gazogènes, l'un avec faisceau tubulaire, l'autre sans cet appareil, les deux installations alimentant deux fours identiques et brûlant le même charbon.

La dépense de combustible du gazogène muni du récupérateur est régulièrement inférieure de 10 °/₀ à celle de l'autre appareil et cette économie est uniquement due à la chaleur récupérée qui permet d'obtenir un gaz plus riche.

Il est facile de se rendre compte de l'économie que permet de réaliser le gaz mixte par rapport au gaz de ville, puisque pratiquement on obtient avec le gaz mixte produit par un kilogramme de charbon au moins le même effet calorifique utile qu'avec un mètre cube de gaz de ville.

GAZOGÈNE FICHET ET HEURTEY AUTOPRODUCTEUR DE VAPEUR

Dans les applications où l'on ne doit pas employer le gaz chaud et où la question de haute puissance calorifique ne présente pas un intérêt spécial, on peut utiliser la chaleur des gaz à leur sortie

du gazogène pour produire la vapeur d'humidification de l'air : cette disposition permet de supprimer la chaudière indépendante et d'économiser de ce fait la dépense de charbon qui en résulte. La production du gaz est alors assurée, à défaut de souffleur à vapeur, soit par un ventilateur envoyant l'air dans le gazogène, soit par un ventilateur aspirant le gaz produit.

Au point de vue de la puissance calorifique du gaz, les deux systèmes de ventilateurs produisent le même effet, et le choix qu'il y a lieu de faire entre eux dépend surtout des conditions de marche et de l'application à laquelle le gaz est destiné.

Lorsque le gazogène est employé pour le chauffage et qu'il n'est pas nécessaire de refroidir et d'épurer complètement le gaz, il est préférable d'installer l'appareil avec ventilateur soufflant.

Si, au contraire, le gaz doit être bien épuré, et servir par exemple pour la force motrice, le ventilateur aspirant rendra de plus grands services, car, ainsi que nous le verrons plus loin, il contribuera en même temps à l'épuration du gaz.

Le gazogène autoproducteur de vapeur ne diffère de l'appareil décrit précédemment que par la construction de la partie supérieure. Le cendrier, la sole tournante et le dispositif de décrassage sont les mêmes, mais la voûte et le couvercle sont remplacés par un saturateur destiné à humidifier l'air de combustion au degré voulu.

Ce saturateur, rempli d'eau à niveau constant, constitue une chaudière sans pression, à très grande surface de chauffe, dans laquelle l'air circule méthodiquement avant d'être envoyé dans le cendrier du gazogène.

Lorsque l'appareil est disposé avec ventilateur soufflant, le couvercle supérieur du saturateur est étanche, et le ventilateur souffle directement sur le plan d'eau ; mais quand le gazogène marche en aspiration, l'étanchéité de ce couvercle n'est pas indispensable.

Le couvercle-saturateur porte en son centre la trémie de chargement et est muni d'un certain nombre de trous de piquage, comme les autres types de gazogène.

Ces saturateurs se font en fonte, en acier coulé ou en tôle

d'acier, suivant les dimensions de l'appareil. Leur construction est étudiée en vue d'assurer l'accès facile de toutes les surfaces bai-

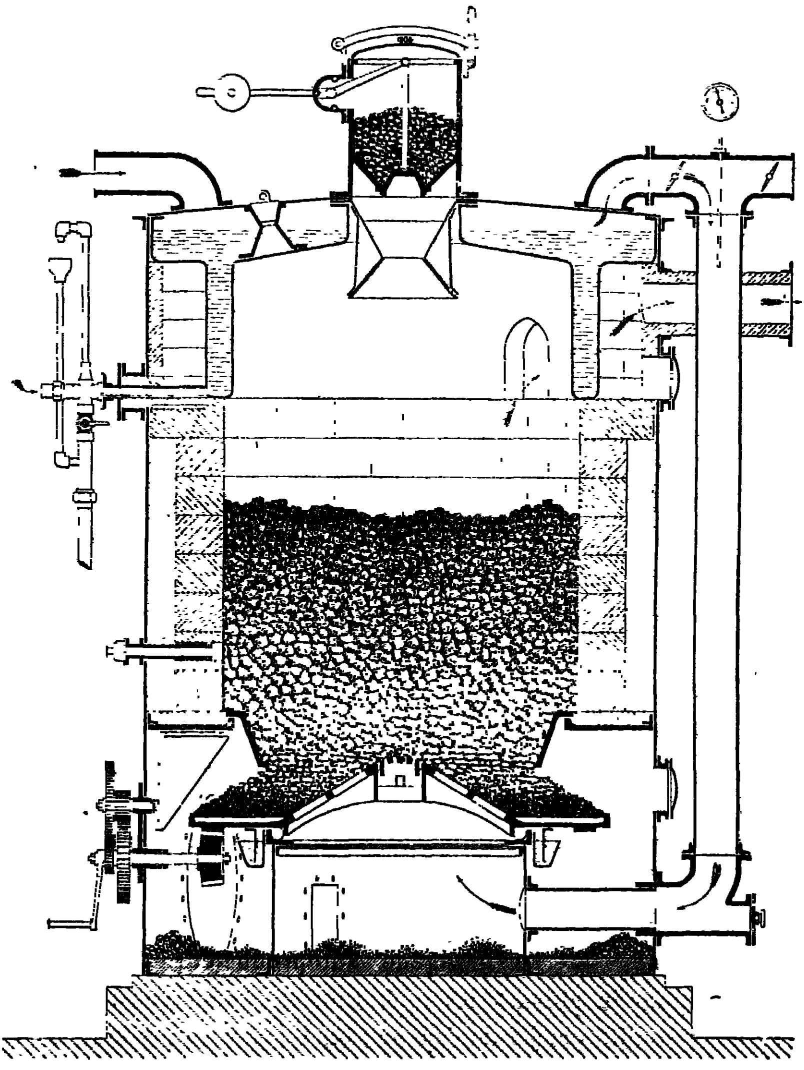


Fig. 17. — Gazogène Fichet et Heurtey à sole tournante grillée autoproducteur de vapeur.

gnées par l'eau, afin d'éviter leur entartrage. Il est néanmoins préférable d'employer toujours de l'eau aussi propre que possible

et même, dans certains cas, on alimente ces chaudières par l'eau provenant d'un réchauffeur, disposé à la suite du gazogène, où se dépose la plus grande partie des matières solides.

On doit éviter l'emploi des combustibles gras dans les gazogènes autoproducteurs de vapeur, car les produits goudronneux se condenseraient sur les parois froides de la chaudière, ce qui nuirait à la transmission de la chaleur et diminuerait rapidement le rendement.

La surface du saturateur est calculée de façon à produire une quantité de vapeur sensiblement supérieure à celle qui est nécessaire pour une marche normale, de façon à assurer en tout état de cause la production d'un gaz plus riche et de qualité très constante.

Le saturateur est muni de papillons de réglage permettant de doser à volonté, suivant les indications d'un thermomètre à cadran, la proportion de vapeur d'eau entraînée par l'air.

Dans certains cas, cet air humide est surchauffé dans son parcours jusqu'au cendrier, soit à l'aide de la chaleur encore disponible dans les gaz, soit par un passage dans les tuyaux disposés contre la cuve réfractaire du gazogène.

La puissance calorifique moyenne du gaz obtenu dans le gazogène autovaporisateur est de 1.250 calories par mètre cube ; elle se maintient aussi constante que celle du gaz fourni par des gazogènes soufflés par jet de vapeur.

Comme avec un kilogramme de charbon on peut produire couramment 4,5 mètres cubes de gaz, on voit que le rendement de cet appareil est très élevé.

Application. — Le gazogène autoproducteur de vapeur convient pour la plupart des opérations de chauffage comme le gazogène soufflé par jet de vapeur ; on installe de préférence ce type d'appareil lorsqu'il n'y a pas de chaudière dans l'usine et que l'on dispose d'une transmission ou d'un moteur électrique pour actionner le ventilateur. Suivant les cas, le gaz est utilisé, soit brut, tel qu'il sort du gazogène soit lavé et épuré.

Une des applications les plus intéressantes de ce type de gazo-

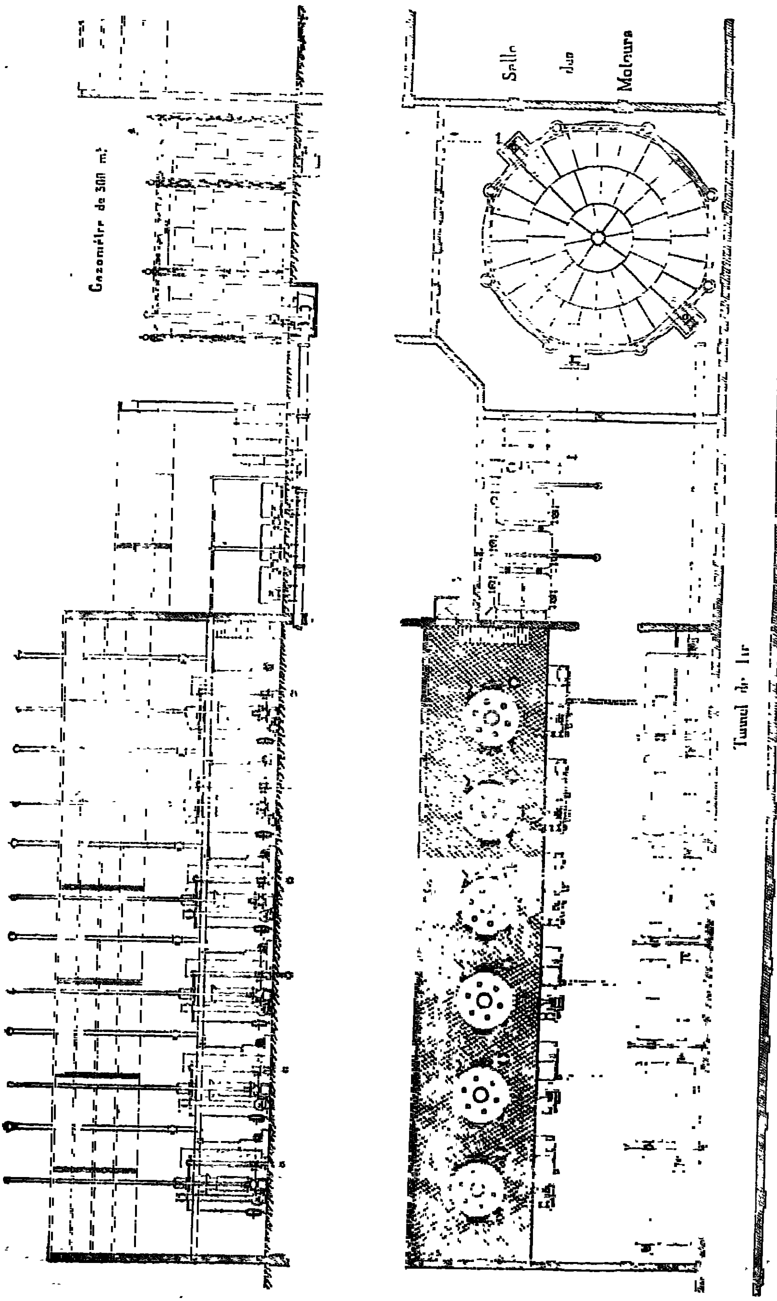


Fig. 18. — Installation de gaz mixte de 1.500 chevaux (Fabrique nationale d'armes de guerre d'Herstal).

gène est celle de la production de la force motrice au moyen des moteurs à gaz.

Pour cette application qui nécessite du gaz très propre, le gazogène est complété par la série des différents appareils de lavage et d'épuration dont il sera question plus loin ; l'installation comporte le plus souvent un gazomètre formant régulateur de pression et de débit.

Avec ce type de gazogène à grand rendement calorifique et les bonnes machines modernes, la consommation par cheval-heure effectif, en marche industrielle, à pleine charge, est tout au plus de 425 à 475 grammes ; elle descend même dans certains cas au-dessous de ce chiffre.

Nous donnons (fig. 18) le plan d'une installation de ces gazogènes.

Celle de la *Fabrique nationale d'armes de guerre*, *à Herstal (Belgique)*, comporte 5 groupes de gazogènes autovaporisateurs, de 250 chevaux chacun, à sole grillée, avec tous leurs appareils d'épuration, une batterie importante d'épurateurs chimiques et un gazomètre de 300 mètres cubes.

Les ventilateurs-épurateurs de chaque groupe sont actionnés par des moteurs électriques branchés sur le réseau de distribution de l'usine.

Le combustible brûlé dans ces gazogènes est du charbon maigre du bassin de Liége en très petit criblage (4 à 6^{mm}), qui est utilisé sans aucun déchet et dont le prix est inférieur à celui du charbon à chaudières, consommé dans le même établissement ; il est amené sur le plancher de service dans les wagonnets par un monte-charge électrique.

STATIONS CENTRALES DE FORCE MOTRICE AU GAZ MIXTE (fig. 19)

Comme nous l'avons vu précédemment, on peut utiliser, pour les installations de force motrice, aussi bien les gazogènes soufflés par une chaudière indépendante, que les gazogènes autoproducteurs de vapeur. Toutefois, les moteurs à gaz actuels

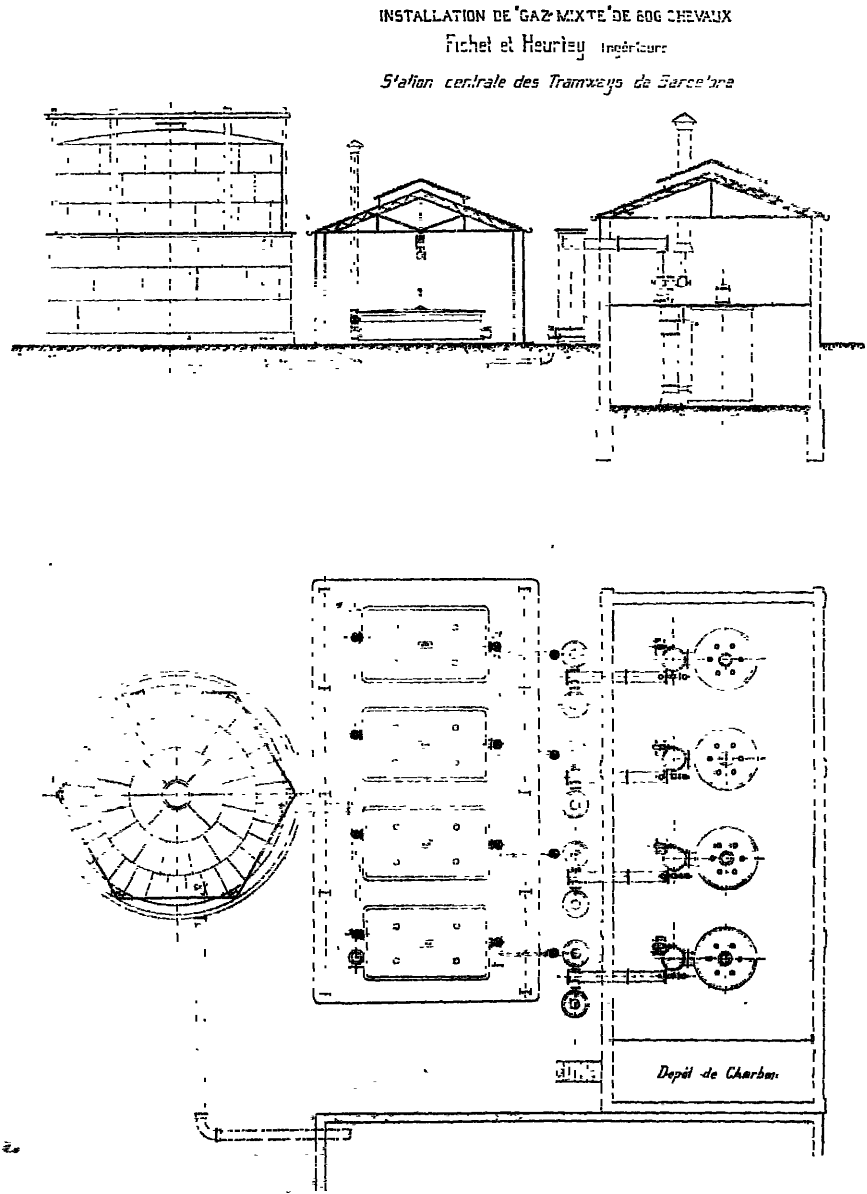

INSTALLATION DE 'GAZ MIXTE' DE 600 CHEVAUX
Fichet et Heurtey Ingénieurs
Station centrale des Tramways de Barcelone
Dépôt de Charbon

Fig. 19.

n'exigeant pas l'emploi de gaz à puissance calorifique élevée, les gazogènes autovaporisateurs à grand rendement calorifique conviennent particulièrement à cette application, surtout quand il s'agit d'installations d'une certaine importance ou de stations centrales, comme celle que nous décrivons ci-dessous.

Le plan ci-joint de la Station centrale des *Tramways de Barcelone à San-Andrès et extensions*, établie par la Société d'Entreprise générale de travaux, donne la vue d'ensemble des appareils.

L'installation de gaz, d'une puissance totale de 900 HP, est constitutée par quatre groupes de 230 HP, une batterie d'épurateurs chimiques et un gazomètre de 250 mètres cubes.

Chaque groupe comporte un gazogène soufflé à sole tournante, un récupérateur tubulaire, une série de tuyaux refroidisseurs, un laveur à garde d'eau.

Les gazogènes sont disposés en fosse, avec plancber de service établi à un mètre au-dessus du sol ; cette disposition assure à la fois une bonne aération de la fosse, un accès facile des appareils et l'approvisionnement rapide du charbon par un plan incliné.

Dans cette installation, mise en service en 1900, époque à laquelle n'existaient pas encore les gazogènes autoproducteurs de vapeur, le soufflage a été assuré au début par deux petites chaudières indépendantes, type Field, chauffées au gaz. Depuis, les gazogènes ont été transformés et munis de saturateurs, ce qui a permis de supprimer les chaudières et d'économiser la quantité de charbon correspondante. Le soufflage de chaque groupe est maintenant obtenu par un ventilateur électrique.

Les tableaux mensuels de *consommation* font ressortir pour une des dernières années d'exploitation une dépense de combustible de 750 grammes par kilowatt-heure en *service industriel*, c'est-à-dire en tenant compte de la marche en veilleuse pendant les heures d'arrêt, des mises en route quotidiennes, et des variations d'allure des moteurs qu'on ne peut éviter dans un service de tramways, même avec une batterie-tampon.

Le gaz sert à alimenter 2 moteurs à 2 temps de 250 et 400 HP.

système von Œchelhaüser, et un grand nombre d'étuves à émailler et des fours divers.

L'épuration du gaz est aussi complète que possible et permet une marche continue des moteurs, pendant plusieurs mois, sans aucun nettoyage.

Le service des fours à recuire de la fabrique d'Herstal est assuré par une seconde batterie de trois gazogènes Fichet et Heurtey installés dans une autre partie de l'usine soufflés par souffleurs à vapeur.

A Paris la station de force motrice établie place Mazas, pour le service de pompage des eaux d'égouts de la ville de Paris ne comporte pas de batteries d'épurateurs à sciure ni de gazomètre.

La production de gaz est assurée par un ventilateur-épurateur aspirant, qui le refoule dans la nourrice d'alimention des moteurs. Un dispositif spécial règle automatiquement la pression dans cette conduite et proportionne exactement la production du gazogène à la consommation des moteurs.

Cette installation, dont la puissance totale est de 400 chevaux, comprend deux groupes de 200 chevaux, dont un seul est habituellement en service. Elle fonctionne jour et nuit sans arrêt.

Elle alimente trois moteurs à quatre temps à un cylindre de 85 chevaux (type Nuremberg), de la maison Garnier et Faure-Beaulieu.

Le combustible employé est du petit grésillon de coke d'usine à gaz, ayant une teneur de 16 à 18 % de cendres.

GAZOGÈNES PAR ASPIRATION DIRECTE DU MOTEUR A GAZ

Dans la plupart des installations de force motrice au gaz, surtout celles d'une certaine puissance, on installe un gazomètre à la suite des appareils de lavage et d'épuration ; ce gazomètre régularise la production du gazogène, permet de compenser dans une certaine limite les variations brusques de travail et assure l'arrivée du gaz aux moteurs sous pression constante.

Pour les installations de moindre importance, on est souvent amené, tant au point de vue du prix que de l'encombrement, à

supprimer le gazomètre, et à adopter la marche en « aspiration », c'est-à-dire l'emploi de gazogènes dans lesquels l'aspiration du gaz est faite directement à chaque explosion par le moteur. Il est évident que, dans une installation de cette nature, les divers appareils placés à la suite du gazogène doivent être disposés pour présenter le moins de résistance possible au passage du gaz et on ne peut songer à faire une épuration complète, ni à employer du charbon en très petits grains ; on est donc amené à se servir de combustible de choix, c'est-à-dire d'anthracite sans poussières ni goudrons.

Le gazogène Fichet et Heurtey adopté pour cette application, est sensiblement le même que celui décrit précédemment ; il n'en diffère que par des détails de construction, spécialement dans les petits modèles.

Il comporte le même genre de sole tournante et de décrassage, la trémie de chargement à double fermeture, des portes de nettoyage et des trous de piquage.

Le saturateur, placé à la partie supérieure du gazogène, est établi sur le même principe et peut être facilement visité et nettoyé sans démontage ; toutefois le volume d'eau en est sensiblement réduit, pour pouvoir mettre rapidement l'appareil en allure normale.

Le couvercle du gazogène est prolongé en dessous par un cône de chargement, formant réserve de combustible pour plusieurs heures.

L'allumage et la mise en route de cet appareil se font avec un petit ventilateur à main, et dès que le foyer est en température on peut mettre le moteur en marche.

Sous l'effet du mouvement du piston, il se produit une dépression dans le gazogène ; l'air atmosphérique est aspiré et arrive au foyer après s'être saturé en balayant le plan d'eau chaude à la partie supérieure du saturateur ; des papillons servent à régler le degré d'humidification de l'air.

On se contente, en général, dans les installations à marche « en aspiration », d'installer un simple laveur à la suite du gazogène ; l'épuration ainsi faite est par trop sommaire et il vaut mieux éta-

blir un refroidisseur avant le laveur à coke, et placer à sa suite un sécheur pour enlever la plus grande partie de l'eau entraînée par le gaz avant son arrivée au moteur.

Pour les petites forces, le saturateur est constitué par un serpentin disposé au-dessus de la cuve réfractaire, dans lequel on

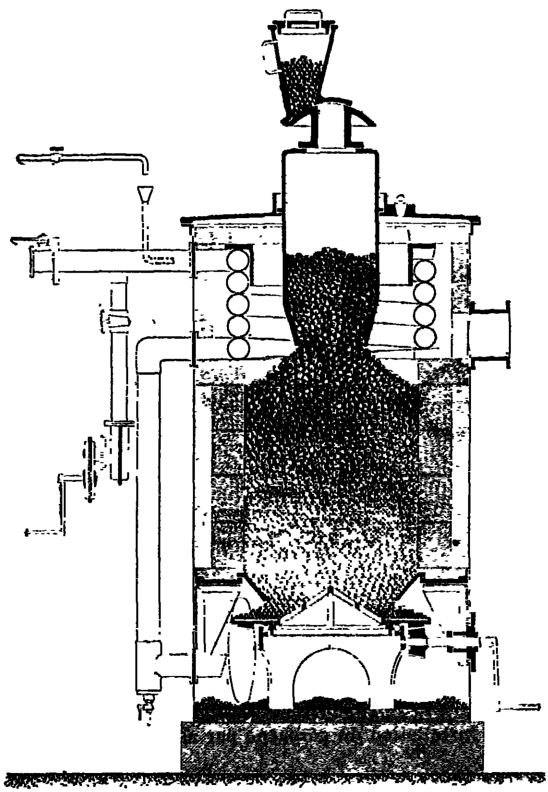


Fig. 20. — Gazogène Fichet et Heurtey par aspiration directe du moteur.

fait passer, en même temps que le courant d'air, la quantité d'eau qui doit être vaporisée.

Ce dispositif, dit à vaporisation instantanée, donne d'excellents résultats ; le réglage de la quantité d'eau se fait par un dispositif très simple, et peut être facilement gradué suivant la consommation du moteur.

Comme il est facile de s'en rendre compte, la marche en aspira-

tion directe par le moteur présente quelques inconvénients, ou tout au moins entraîne à certaines obligations : elle ne permet pas de faire une épuration sérieuse du gaz, elle nécessite l'emploi de combustible très maigre, la qualité du gaz est moins régulière, la puissance du gazogène est un peu diminuée, et les mises en route, à moins qu'il ne s'agisse de petits moteurs, sont souvent un peu longues.

INSTALLATION DE GAZOGENE DE 25 CHEVAUX EN ASPIRATION

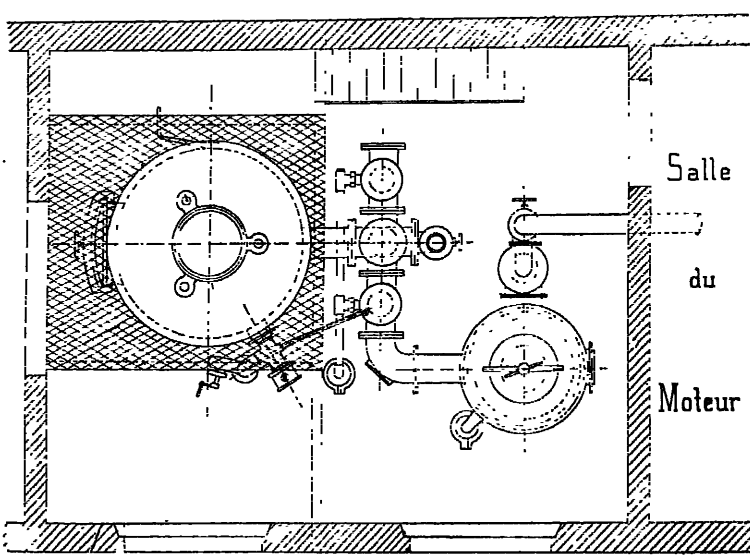


Fig. 21. — Installation du gazogène par aspiration (vue en plan).

Aussi, tout en admettant la suppression du gazomètre, chaque fois que les circonstances ou les convenances le nécessitent, conseillons-nous, sauf pour les faibles puissances, de compléter l'installation par le ventilateur-épurateur, dont nous avons déjà dit un mot, et dont l'emploi remédie aux inconvénients ci-dessus.

La figure ci-dessus représente une installation de gazogène alimentant en aspiration un moteur vertical Westinghouse à 2 cylindres de 35 HP en service à Etretat.

GAZOGÈNE SALMSON, EN ASPIRATION

Ce gazogène est caractérisé par une chaudière annulaire supérieure où se fait la vaporisation, et une chaudière annulaire inférieure qui a pour but de maintenir à basse température les parois du foyer qui sont en contact avec les parties les plus chaudes du

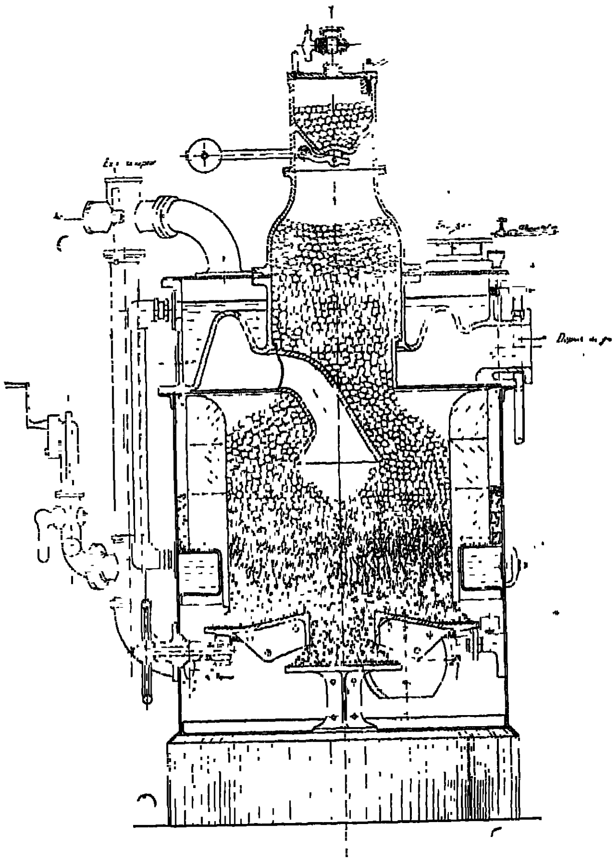


Fig. 22. — Coupe du gazogène Salmson.

combustible. L'admission de vapeur au foyer est réglée par un robinet qui envoie au dehors l'excès de vapeur produit par la chaudière. Le combustible repose sur une *sole tournante* qui rend très faciles les décrassages. Le gaz est aspiré au milieu du

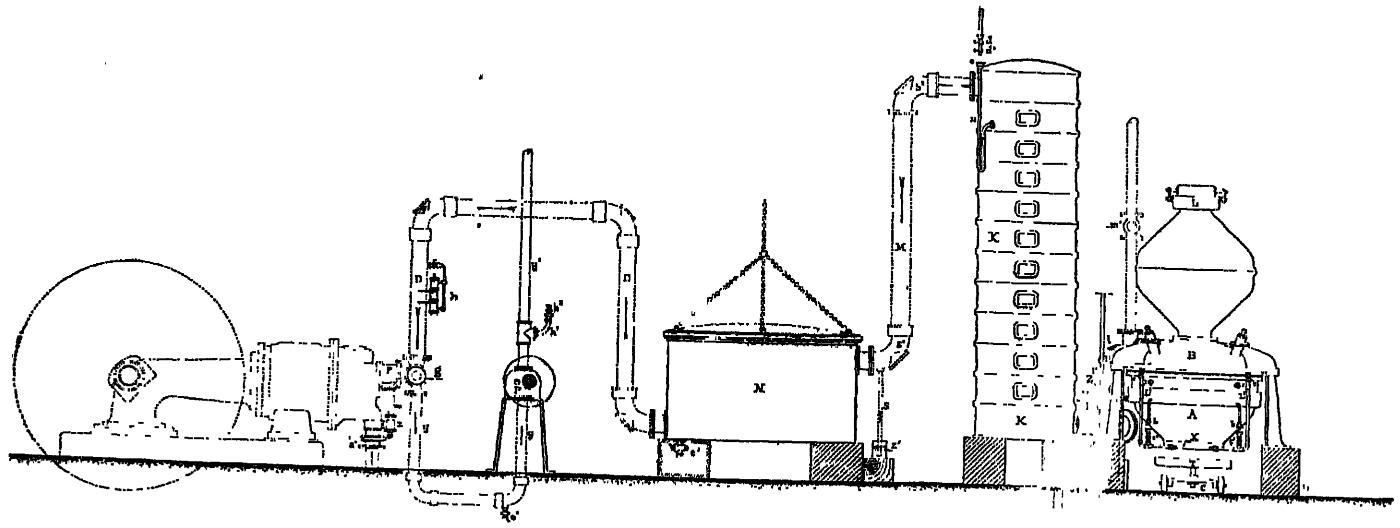


Fig 23. — Gazogène Pierson.

Ce gazogène n'a pas de grille, il est muni d'une sole mobile installée sur un petit vagonnet, de telle sorte qu'on peut dégager entièrement la partie inférieure du gazogène pour le décrassage et l'enlèvement des cendres et mâchefers.

combustible par un large entonnoir renversé, comme le montre la figure ci-dessous. Le dispositif du vaporisateur donnant un excès de vapeur, permet d'ouvrir pendant la marche la porte du foyer afin de procéder sans inconvénient aux décrassages.

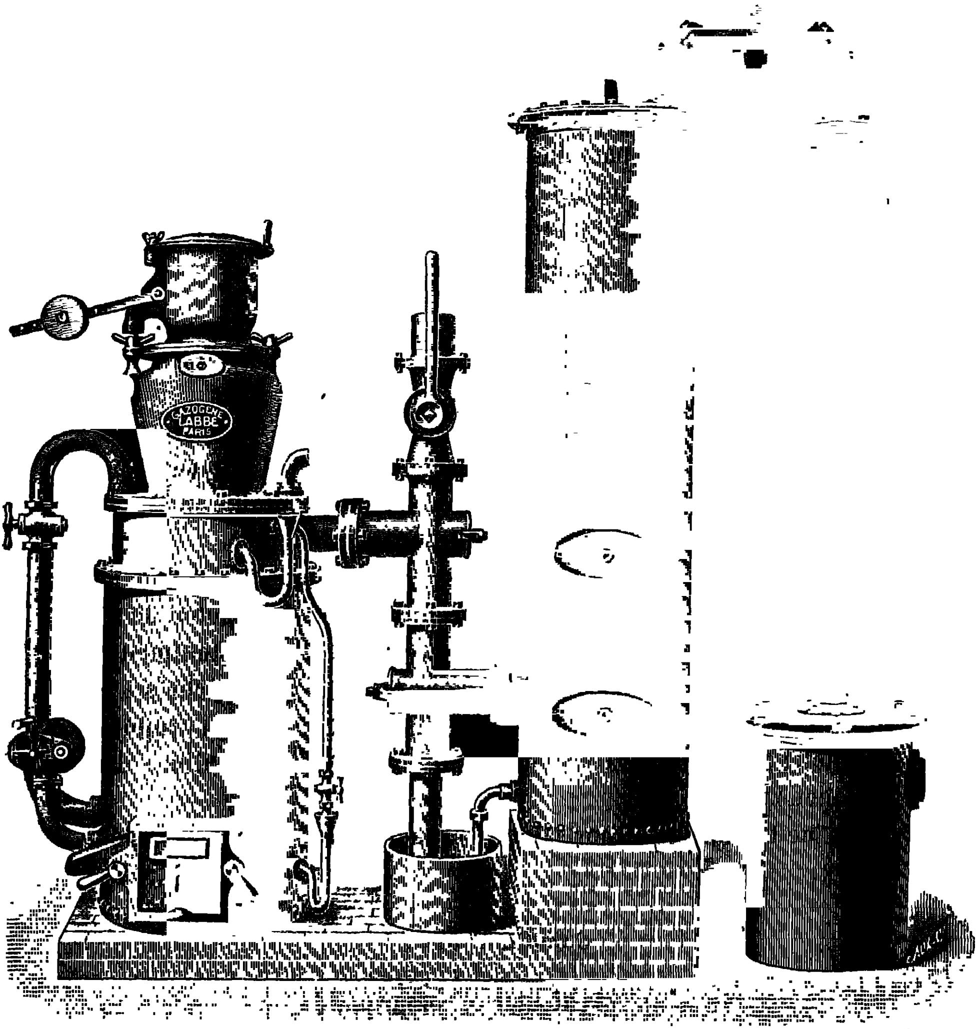


Fig. 24. — Gazogène Labbé.

GAZOGÈNE LABBÉ PAR ASPIRATION (fig. 24)

Ce gazogène de fabrication française est du type à grille à foyer fermé avec garniture réfractaire dans le générateur du gaz ; le vaporisateur annulaire autour de la cuve du gazogène produit automatiquement la quantité de vapeur nécessaire à la puissance développée par le moteur.

Le constructeur indique comme consommation 400 à 600 gr. de charbon maigre par cheval-heure, selon les puissances des moteurs. Ce gazogène est pourvu d'un magasin de réserve de combustible assez grand pour qu'il soit possible de marcher toute la journée avec le chargement du matin, le décrassage du feu se faisant facilement en marche.

GAZOGÈNE IGNIS (fig. 25)

Ce gazogène n'a pas de grille, le décrassage se fait sur une sole fixe ; il emploie les menus d'anthracite et de houille anthraciteuse même en grains de 5 à 10 millimètres.

La partie inférieure de la cuve est en acier moulé et forme le vaporisateur ; la vapeur d'eau se produit ainsi dès le début de la combustion et la base du foyer se trouve refroidie constamment, ce qui empêche le collage et l'agglomérations des mâchefers ; de plus la production de vapeur est ainsi rigoureusement proportionnelle à la température du foyer, c'est-à-dire à l'allure du gazogène.

Le nettoyage du vaporisateur est facile par 2 tampons spéciaux.

GAZOGÈNE OTTO

Ce gazogène a une particularité remarquable : des injecteurs amènent une certaine quantité d'eau sur des cendres que l'on dispose sur la grille au moment de l'allumage du feu. Pendant la marche on maintient l'épaisseur de cette couche de cendres à

la valeur normale en passant le ringard sur la grille toutes les deux ou trois heures, de cette façon, on ne fait pas tomber de combustible, mais ces cendres sont complètement brûlées.

La quantité de vapeur d'eau admise dans le gazogène est ainsi proportionnée à l'aspiration d'air sur la grille.

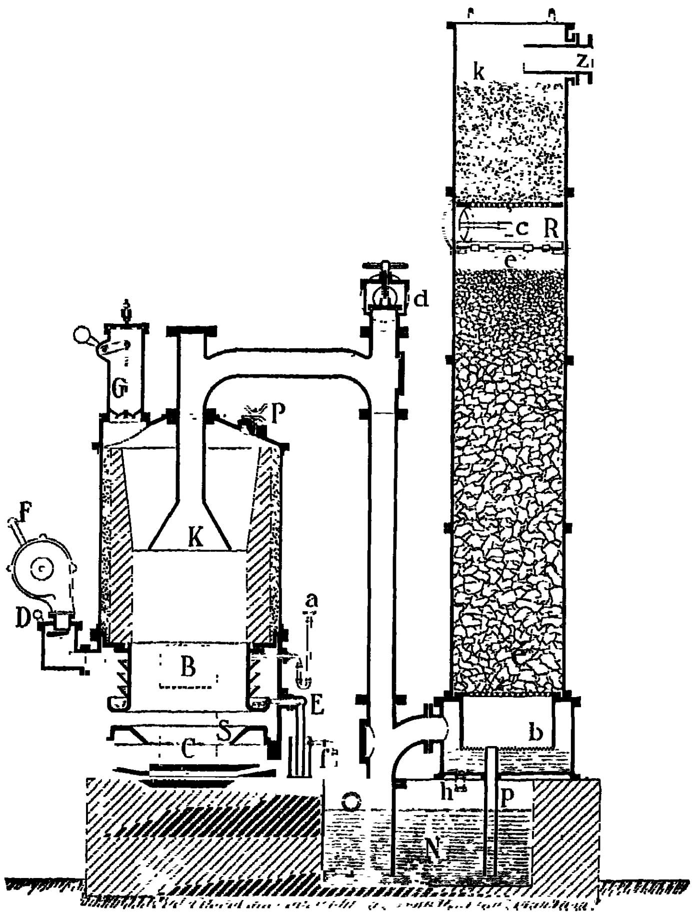


Fig. 25. — Gazogène Ignis (charbon et coke).

La grille étant constamment recouverte de cendres humides et compactes, il est possible d'employer dans ce gazogène des combustibles menus n'ayant pas plus de 5 millimètres et contenant jusqu'à 20 et 30 % de cendres.

GAZOGÈNE FICHET ET HEURTEY A DOUBLE COMBUSTION

Les divers gazogènes que nous venons d'examiner, nécessitent l'emploi de charbons maigres n'ayant pas plus de 8 à 10 °/₀ de matières volatiles, pour toutes les applications où il s'agit d'obtenir du gaz froid et épuré, soit pour la force motrice, soit pour les chauffages industriels.

Lorsqu'on charge de la houille, du bois, du lignite ou de la tourbe dans ces gazogènes, le gaz produit contient une quantité notable d'hydrocarbures plus ou moins volatils et condensables, que l'on ne peut arrêter dans les appareils habituels de lavage et d'épuration sans les obstruer rapidement.

Pour employer ces combustibles, MM. Fichet et Heurtey construisent un gazogène spécial à double combustion qui permet d'éviter ces inconvénients et supprime les obstructions et dépôts dus à la présence des hydrocarbures lourds.

Ce gazogène est formé en quelque sorte de deux gazogènes superposés ayant une alimentation de combustible unique, un départ de gaz commun et deux foyers distincts. La combustion se fait de bas en haut dans la cuve inférieure, et est renversée, c'est-à-dire dirigée de haut en bas, dans la cuve supérieure.

L'admission de l'air et le chargement du gazogène du haut sont disposés pour y produire la distillation du combustible, et la réduction des hydrocarbures provenant de cette distillation.

Le gazogène inférieur, se trouvant ainsi alimenté avec du charbon distillé, fonctionne comme un gazogène au coke ou au charbon maigre.

Cet appareil peut marcher à volonté en pression ou en aspiration ; au point de vue de la commodité de chargement du combustible et de la surveillance du feu, on adopte plus généralement la marche en aspiration.

GAZOGÈNE FICHET ET HEURTEY A DECRASSAGE PAR FUSION DES CENDRES

Ainsi que nous l'avons expliqué à propos du fonctionnement des gazogènes, il importe, pour éviter les difficultés de décrassage, de ne pas dépasser une certaine allure de combustion et une température trop élevée du foyer qui amènerait les collages des cendres et des mâchefers.

D'autre part, on ne peut augmenter indéfiniment les diamètres des appareils, car au-delà de certaines dimensions, il devient presque impossible de maintenir l'égalité de la combustion sur tous les points d'une grande section.

Il en résulte que la puissance des gazogènes se trouve nécessairement limitée ; l'expérience a montré qu'il faut éviter de dépasser, dans un même appareil, une consommation de plus de 200 kilogrammes de charbon par heure, et encore n'est-ce possible qu'avec certains combustibles.

On doit donc installer un grand nombre de gazogènes dès qu'il s'agit d'alimenter des stations centrales comportant des moteurs de grande puissance ou des batteries importantes de fours.

Pour simplifier ces installations et pour pouvoir en réduire le prix, MM. Fichet et Heurtey ont établi un nouveau type de gazogène de grande puissance, caractérisé par un mode de décrassage essentiellement différent de tous ceux employés actuellement.

Ce gazogène fonctionne à une allure de combustion très vive de façon à surélever suffisamment la température du foyer pour fondre complètement les cendres ; on peut ainsi les éliminer facilement à l'état de laitier.

L'air est injecté dans le foyer sous une forte pression par une série de tuyères, dont la conservation est assurée par une circulation d'eau.

En réglant l'arrivée de l'air, on peut faire varier instantanément la production du gaz dans de grandes limites ; l'on peut même l'arrêter tout à fait pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures

sans risque d'extinction. L'appareil se remet en marche rapidement après un soufflage de quelques minutes.

Ce gazogène, désigné plus couramment sous le nom de *gazogène à fusion*, convient spécialement au chauffage de grands fours fonctionnant d'une manière continue ; il permet de brûler des combustibles variés, des lignites et des houilles de qualité inférieure.

GAZOGÈNES AU CHARBON A COMBUSTION RENVERSÉE

(Système Fornas)

Ces gazogènes à combustion renversée, possèdent, d'après leur inventeur, les deux avantages suivants :

Pas de mâchefer. — En effet l'air qui sert à la combustion, arrive sur le charbon frais, il l'enflamme et produit une température élevée. Chaque grain devient incandescent, mais le mâchefer qui y est contenu ne peut s'agglomérer car il n'y a pas de cendre. Au fur et à mesure de la combustion, la température diminue et le combustible descend dans l'appareil. Dans le bas où se trouvent alors les cendres, la température est beaucoup trop basse pour former le mâchefer et le résidu ne se compose que de cendres friables. Les pierres contenues dans le charbon, sortent du gazogène avec leur forme primitive, mais elles sont devenues blanches par leur passage dans le feu.

Pas de goudron. — Les goudrons qui se dégagent du combustible, sont obligés de traverser complètement le foyer. Or on sait que chimiquement les goudrons sont décomposés à la température de 600° ; donc si le feu a au moins cette température aucun goudron ne passera. La température de 600° est celle du rouge sombre, il est donc facile de l'atteindre et pour une bonne combustion il faut près de 1.000°.

Ces deux avantages principaux en entraînent d'autres : Il n'est pas nécessaire de passer le ringard dans le feu, les terres ont alors une durée très longue, et le feu descend bien régulièrement. On peut à tout moment, sans nuire à la marche, voir celui-ci par les regards. Le chargement se fait en marche sans précaution et

sans danger, puisque la partie supérieure de l'appareil est toujours en communication avec l'air extérieur. Il n'y a pas de grille, mais un simple papillon manœuvré de l'extérieur, qui sert à maintenir le charbon dans le gazogène, et à décrasser de temps en temps ; mais, comme il est bien en dessous du foyer, sa tempé-

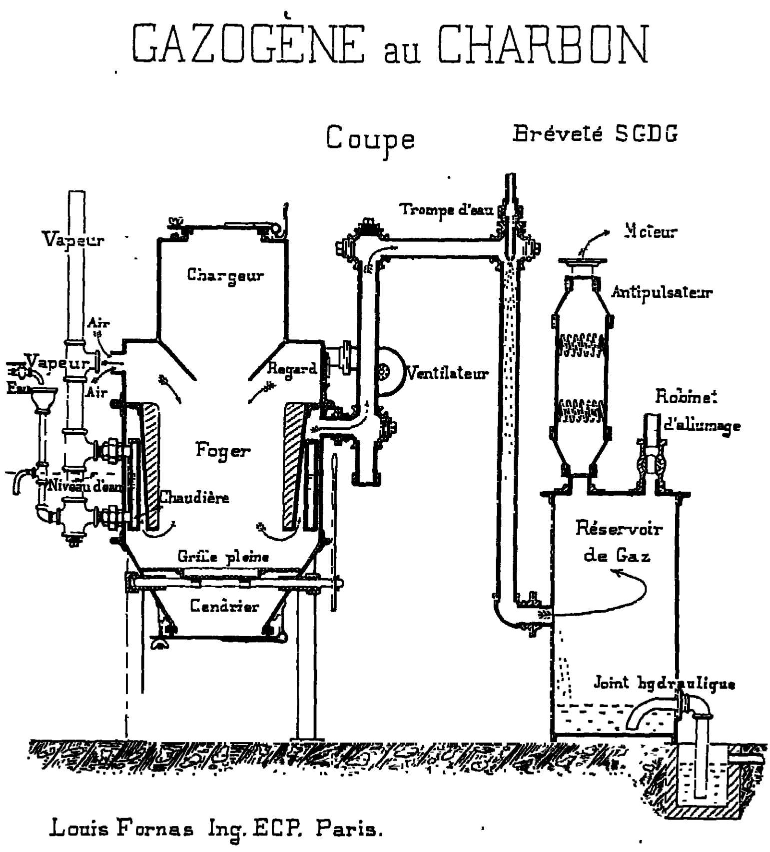


Fig. 26. — Gazogène 100 HP pour bateaux.

rature ne dépasse pas 100° et il est inusable. On ne vide le gazogène qu'au bout de plusieurs mois, l'allumage se faisant dessus le foyer il n'est pas nécessaire de le vider pour cela. A l'arrêt il suffit de fermer le robinet de gaz, sans rien nettoyer et le lendemain le feu est tout prêt pour l'allumage.

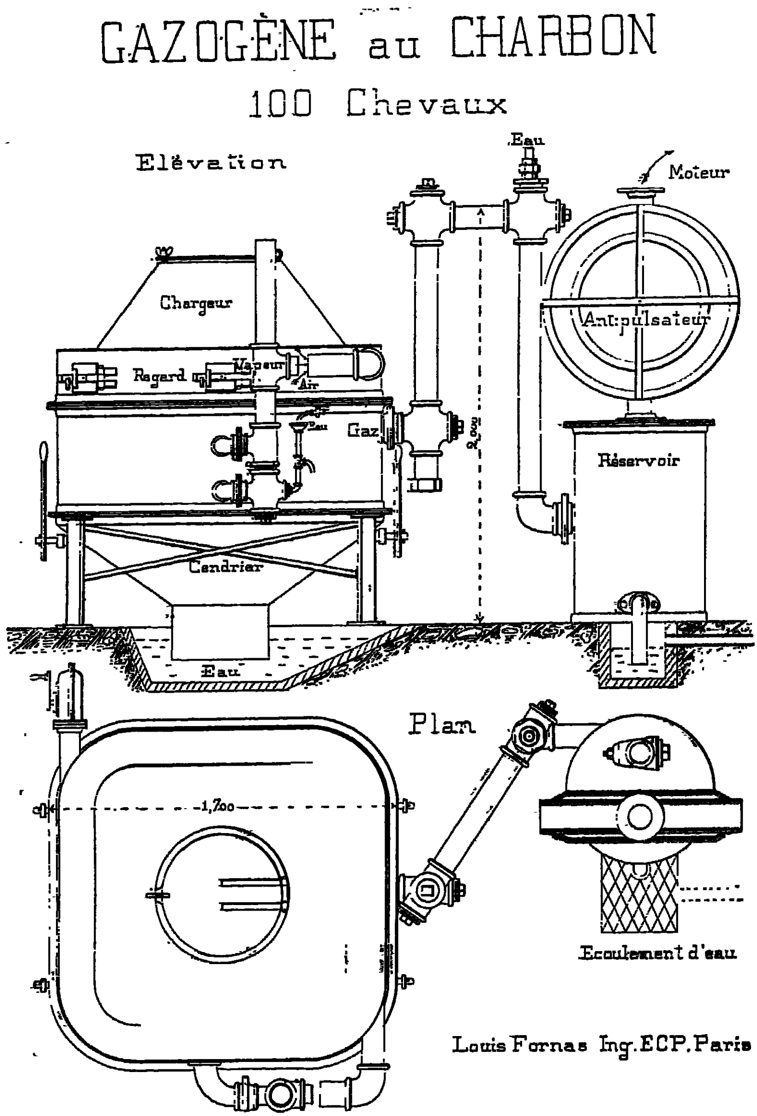


Fig 27.

L'absence de goudron permet de supprimer les épurateurs ; un simple refroidissement des gaz suffit, et la légèreté ainsi obtenue permet de faire des appareils aptes à l'automobile et à la navigation.

Que la combustion soit directe ou renversée, tout dans la formation du gaz reste identique, la consommation en charbon et en eau est donc la même, mais par suite de l'absence de goudron et de mâchefer, on peut alimenter l'appareil, non seulement avec de l'anthracite, mais avec des charbons de qualité inférieure, comme la tourbe, les lignites, les charbons gras ou maigres.

A la partie supérieure se trouve le chargeur, qui contient du combustible pour 5 à 10 heures. Puis vient le foyer, garni de terres réfractaires, avec ses orifices de visite, de prise d'air et de vapeur. Ce foyer pend, maintenu dans une cuve métallique, à l'intérieur d'une enveloppe, où est puisé le gaz, et qui renferme la chaudière, qui absorbant les chaleurs perdues, fournit la vapeur nécessaire à la formation du gaz pauvre.

A 20 centimètres plus bas que le foyer se trouve le papillon, qui règle la descente du combustible, il se manœuvre extérieurement, et il ne faut pas le remuer plus d'une fois par jour.

Le gazogène se place sur une aire plane, sans aucune fondation, le montage se réduit donc au raccordement de la tuyauterie d'eau et de gaz. Le lavage et le refroidissement du gaz se font par une trompe d'injection d'eau (figures 26 et 27).

GAZOGÈNE S. L. M.

(Moteurs CHARON)

Dans ce gazogène, *un manteau en tôle* garnit la partie supérieure du générateur ; l'air frais entrant sous ce manteau se réchauffe au contact du générateur et arrive au vaporisateur à une température plus élevée. Une cloison intérieure oblige l'air à faire le tour complet du vaporisateur (fig. 27 A).

La conduite d'air et de vapeur amène ce mélange sous le *cendrier* afin de le faire passer à travers la colonne de combustible en ignition.

La conduite à gaz, à doubles parois intérieures, forme à sa base sac à escarbilles et joint hydraulique, cette conduite est reliée au laveur par une tubulure spéciale avec coude à tampon démontable permettant un nettoyage rapide et parfait.

Dans *le vaporisateur bouilleur* annulaire, le niveau de l'eau est maintenu constant par un réservoir de trop-plein ; ce vaporisateur est à l'*abri des coups de feu* et d'un accès et nettoyage faciles.

Une conduite permet d'amener, si besoin est, une certaine quantité d'eau au foyer du générateur. Cette disposition permet d'obtenir un gaz très riche en hydrogène et facilite beaucoup les mises en route.

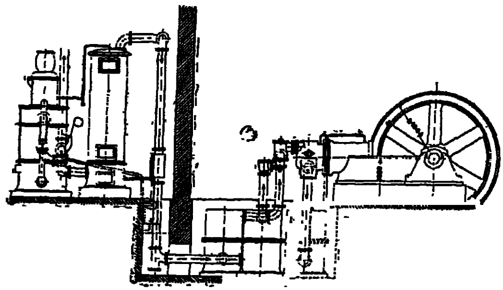


Fig. 27 A. — Gazogène et moteur Charon (SLM).

Deux portes de foyer sont placées à la base du générateur permettant le décrassage et le nettoyage rapide du foyer en marche.

Le cendrier comporte un tube plongeant dans un bac rempli d'eau, évitant la production des mâchefers et permettant le décrassage du feu ainsi que l'enlèvement facile des escarbilles pendant la marche, sans aucune perturbation dans le fonctionnement de l'installation et sans dégagement de poussières.

GAZOGÈNE A CHARGEMENT ET DÉCRASSAGE MÉCANIQUES

Ce type d'appareil, répandu depuis un certain nombre d'années, et construit, en particulier, par la maison Chavanne-Brun, réalise un perfectionnement grâce à la réduction de main-d'œuvre. Le chargement s'opère par une trémie tournante (appareil George) qui déverse le charbon sur un déflecteur incliné fixe, ce qui donne une répartition régulière sur toute la surface, au taux d'environ 8 kilogrammes par minute. Pour le décrassage, la sole est tour-

tante et une bêche fixe déplaçable enlève les scories. Pour régler l'allure, l'air est fourni par un ventilateur et la vapeur d'eau par un injecteur qui se règlent séparément (fig. 28 et 29).

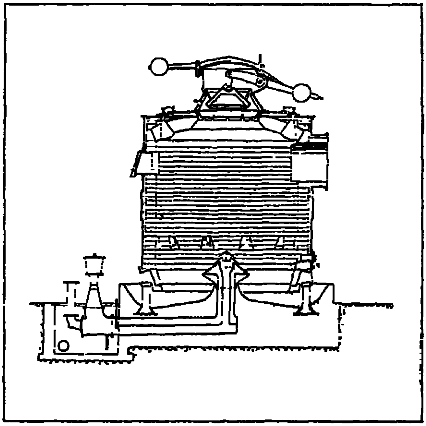


Fig. 28. — Coupe d'un gazogène C. B. F. à chargement et décrassage à la main.

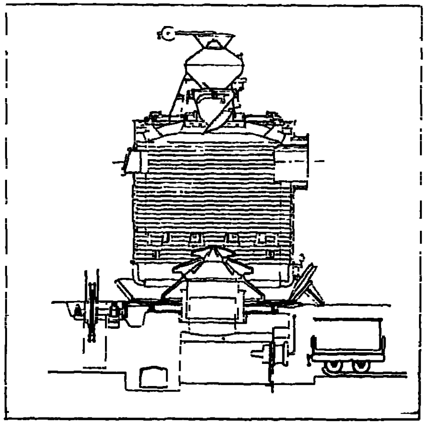


Fig. 29. — Coupe d'un gazogène C. B. F. à chargement et décrassage mécaniques.

MACHINES A GAZÉIFIER MORGAN (fig. 30)

Dans cet appareil le travail de chargement, la répartition du combustible et le décrassage se font mécaniquement. La cuve tourne à raison de six tours par heure sous un chapeau fixe. Sur celui-ci est monté un distributeur de charbon occupant sensiblement l'emplacement d'un rayon; un racloir fixe étale sur toute la surface du feu, pendant la rotation de la cuve, le charbon introduit suivant un rayon de celle-ci.

L'air est amené à la fois par une triple tuyère centrale et une série de tuyères annulaires. Pour le décrassage, la sole est tournante, et une bêche fixe, qui se relève automatiquement après un tour, extrait les cendres et les scories. La fermeture entre le chapeau et la cuve est réalisée par un joint hydraulique. La cuve a 3 mètres de diamètre; l'appareil permet de passer 26 tonnes par 24 heures, soit plus de 200 kilos par mètre carré et par heure. La puissance pour actionner l'appareil est de 3/4 de cheval en temps normal, de 1,5 cheval pendant le décrassage.

Dans ces conditions, les piquages sont absolument évités, même avec des charbons relativement gras, tels que des tout-venants à 20 % de cendres. Le gaz produit a 1.300 calories.

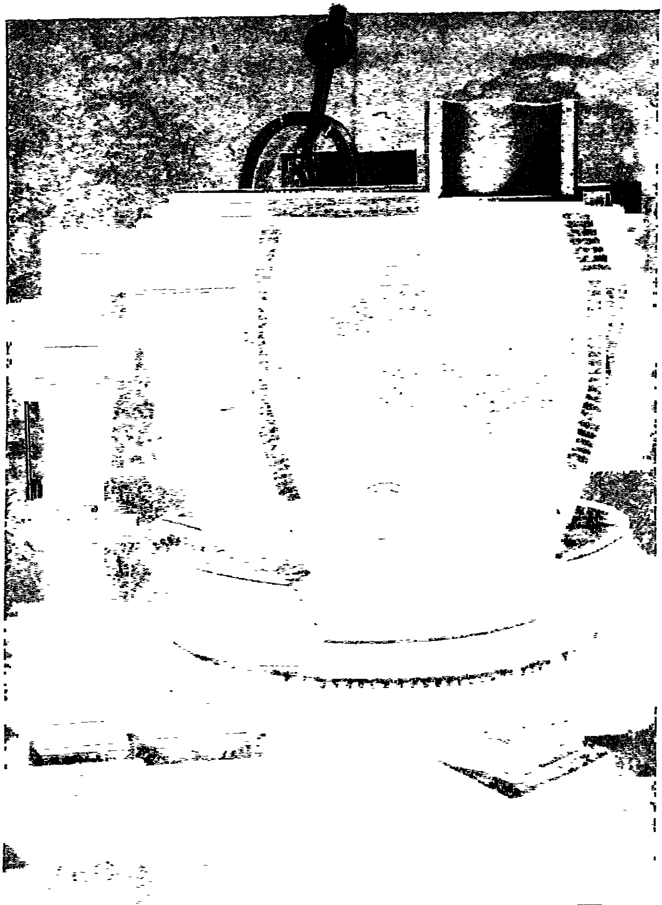


Fig. 30. — Coupe d'une machine à gazéifier Morgan.

Depuis 1910, il existe à Saint-Chamond, aux Aciéries de la Marine, un appareil utilisant des tout-venants Montrambert gras. D'autre part, cet appareil permet l'utilisation de combustibles très maigres, tels que par exemple des charbons barrés, résidus de triages Montrambert, à 50, 55 % de cendres. Un pareil gazo-

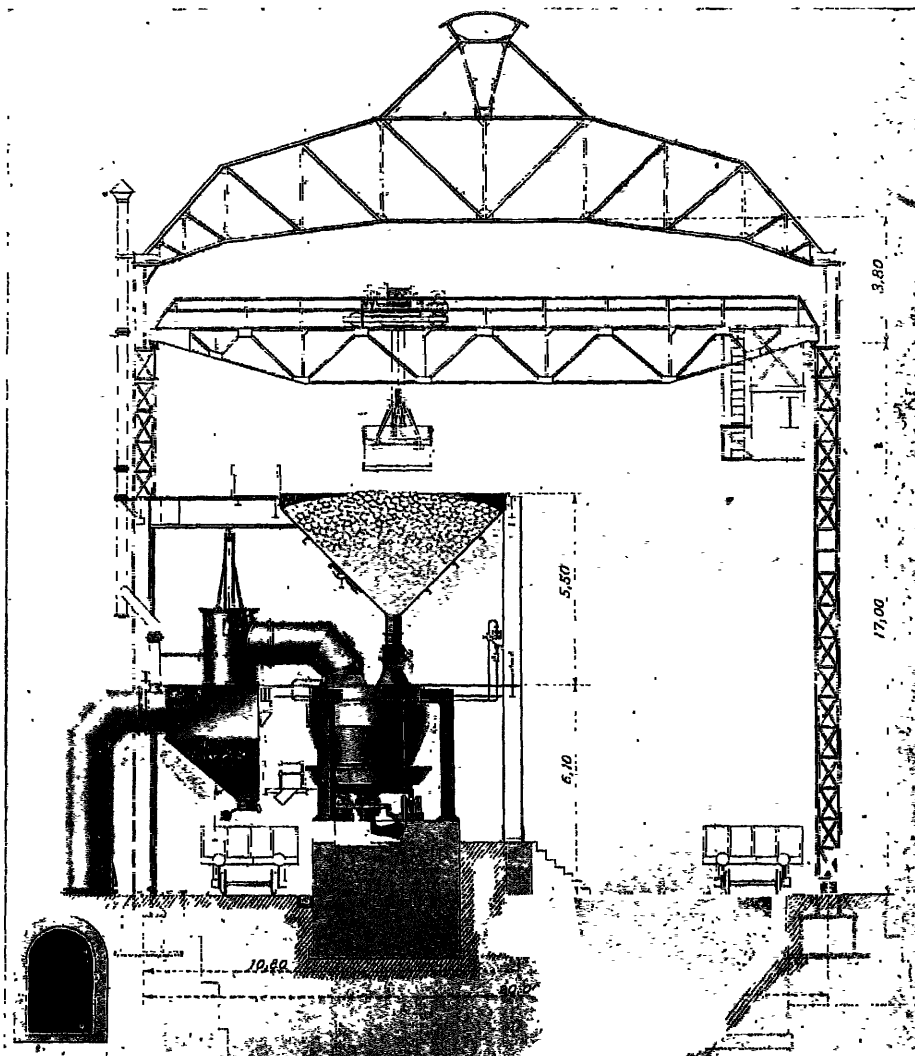


Fig. 31. — Coupe d'une installation de machine à gazéifier Morgan.

gène fonctionne ainsi depuis 5 ans dans d'excellentes conditions.

Les essais avec des lignites et du bois ont été également, paraît-il, très satisfaisants.

Bien que d'invention récente, cet appareil est utilisé par la Société Schneider, à son usine du Breuil, pour alimenter des fours à réchauffer. La Société de Denain-Anzin alimente ses fours Martin avec 11 de ces appareils.

Il est employé aux verreries de Vertou et de Saint-Galmier.

La machine Morgan est destinée aux importantes installations de production de gaz mixte ; la figure 31 montre l'équipement de cette machine avec un pont roulant électrique prenant le charbon dans les vagons, pour l'amener immédiatement sur la trémie d'alimentation.

TROISIÈME PARTIE

—

DESCRIPTION DE QUELQUES GAZOGÈNES EMPLOYANT LE BOIS ET DIVERS COMBUSTIBLES

GAZOGÈNES UTILISANT LE BOIS ET LES DÉCHETS LIGNEUX

Voici ce qu'écrit à ce sujet M. Béchevot :

« On cherche actuellement avec plus ou moins de succès le *Carburant National*, c'est-à-dire un carburant composé et ne contenant pas ou peu d'essence minérale — produit d'importation. Ce problème est intéressant certes, tout au moins pour les moteurs d'automobiles, de tracteurs ou de bateaux. Mais, pour les moteurs fixes, nous possédons un « carburant » autrement économique et véritablement *national*. C'est le gaz de bois, de ce bois qui pousse partout, dont nous possédons de riches forêts, de ce bois qui, contrairement à la houille, se renouvelle chaque année et qui est un des agents de transformation de la chaleur solaire — la seule qui soit à notre disposition — que le moteur soit une turbine hydraulique, une machine à vapeur ou un moulin à vent.

« Certes si, privé de houille, on chauffait les machines à vapeur avec le bois de nos forêts, à moins de planter des arbres en quantité, celles-ci s'épuiseraient parce que la machine à vapeur est un gouffre à combustible et certainement le plus mauvais transformateur de la chaleur solaire. Mais si, dans un gazogène, on transforme le bois en gaz et que l'on brûle celui-ci dans un moteur à explosion ou à combustion, les conditions changent totalement et le bois, économiquement employé, peut remplacer avec la houille blanche et tout au moins pour la force motrice,

la houille noire défaillante, houille noire dont il faut importer la majeure partie, on sait à quel prix ! et qui n'est plus alors un « Carburant national ».

« Avec le bois, pas de cultures à grands renforts d'engrais, pas de distilleries dont l'aménagement absorbe des millions : un appareil très simple — peu coûteux d'achat — et dans lequel le bois et les matières semblables se transforment automatiquement en gaz, sans laisser de déchets appréciables.

« Le bois peut devenir et un carburant et un combustible économique si l'on sait l'employer et si l'on sait constituer des réserves et en augmenter la production en reboisant nos montagnes et toutes les landes et friches impropres à la culture et qu'on devrait *obligatoirement* transformer en forêts — le soleil se chargeant tout seul d'emmagasiner sa chaleur dans les accumulateurs naturels que constituent les arbres.

« L'emploi des bois de coupe récente a été l'objet principal de nos recherches et nous a conduit à rechercher le réchauffage intense de l'air introduit dans l'appareil. Nous avons réalisé d'une façon très simple ce réchauffage intense, en nous servant de l'air introduit comme calorifuge et en isolant ainsi le gazogène proprement dit par une gaîne d'air, constamment renouvelé, qui capte la plus grande partie des calories rayonnant du foyer.

« D'autre part, l'expérience nous a montré qu'il était indispensable de réaliser dans la partie supérieure de l'appareil même, la carbonisation complète du bois avant sa combustion définitive dans le foyer inférieur.

« Cette carbonisation ne peut être rapide et complète que si le bois reçoit assez de chaleur par conductibilité. Il faut donc que la partie qui le renferme soit métallique.

« Pendant la carbonisation du bois, les gaz émis par celui-ci doivent, sous peine de déchet considérable, être recueillis et transformés en gaz ; mais, pour que cette transformation soit complète, il faut que ces gaz soient intimement mélangés à l'air préalablement à leur introduction dans le foyer. »

On verra l'application de ces théories dans les descriptions

suivantes. D'autre part, on remarquera que les gazogènes, décrits ci-après, n'ont pas l'organe vaporiseur d'eau, dont sont munis les gazogènes qui brûlent le charbon.

Il n'en est pas besoin ici, car le bois et les déchets ligneux contiennent en eux-mêmes assez d'humidité pour que leur simple combustion donne un gaz normal.

GAZOGÈNES AUTORÉDUCTEURS H. RICHÉ

La Compagnie du gaz H. Riché a construit, une des premières, sous le nom d'*autoréducteurs,* des gazogènes utilisant toutes sortes de combustibles tels que :

Menus anthraciteux.
Charbons maigres.
Coke (grésillons, menus et poussiers).
Bois de toutes essences, écorces d'arbres.
Sciures, copeaux, sarments de vigne.
Déchets de bois et de liège.
Ecorces de noix de coco.
Déchets ligneux en général.
Paille, foin, feuilles sèches, écorces de riz.
Grignons d'olives, marc de raisin, bagasse.
Paillettes de lin et de chanvre.
Tourbes.
Lignites, etc., etc.

Ces gazogènes sont des appareils à double combustion composés en principe de deux cuves réfractaires soufflées par un ventilateur, avec ou sans addition de vapeur d'eau, selon la nature du combustible employé. Dans la première cuve on brûle un combustible quelconque et tous les produits de cette combustion passent dans la deuxième cuve sur une colonne assez épaisse de coke incandescent.

Ici les hydrocarbures, les goudrons, l'acide carbonique de la première combustion se décomposent et il sort finalement du gazogène un gaz mixte, constitué par l'oxyde de carbone, l'hydro-

gène et l'azote, parfaitement apte à la force motrice et au chauffage industriel.

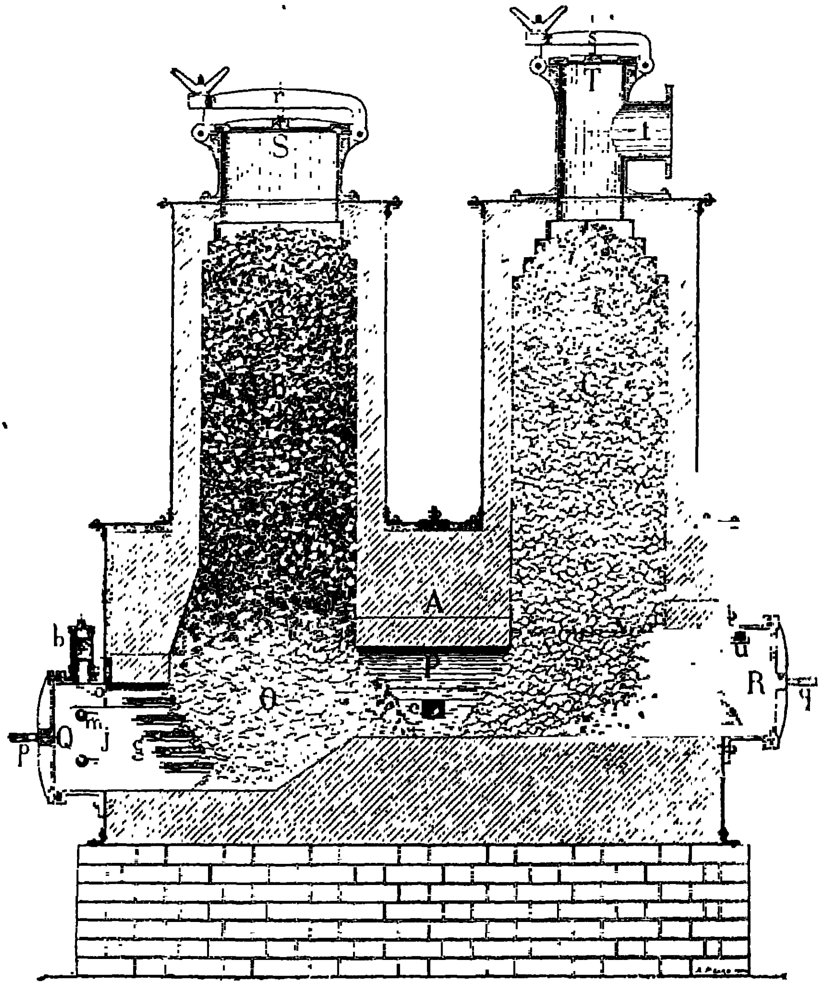


Fig. 32. — Coupe du gazogène autoréducteur Riché à double combustion.

A, Caisson. — B, Trémie de chargement. — C, Trémie de réduction. — O, Foyer. — P, Carneau (zone de deuxième combustion). — Q, Porte et cadre de foyer. — R, Porte et cadre de réduction. — S, Tête de chargement. — T, Tête de sortie de gaz.

b, Air primaire. — *c*, Air secondaire. — *g*, Grille du foyer. — *j*, Flasque de foyer. — *m*, Boulons de fixation des flasques. — *o*, Arrivée d'eau. — *p*, Etrier de porte de foyer. — *q*, Etrier de porte de réduction. — *r*, Etrier de tête de chargement. — *s*, Étrier de tête de sortie de gaz. — *t*, Tubulure de sortie de gaz. — *u*, Soutien de fausse grille. — *v*, Fausse grille.

Voici la description de ces appareils, fort intéressants parce qu'ils permettent de tirer parti d'une quantité de déchets qui étaient autrefois considérés comme à peu près sans valeur.

Le gazogène, dont la figure 32 représente une coupe verticale, est constitué essentiellement par deux cuves B et C, réunies à leur partie inférieure par un carneau horizontal P. Les parois de ces deux cuves et du carneau sont constituées par des matériaux réfractaires avec chemise extérieure en tôles et fontes. Une couche de fibre d'amiante interposée entre la paroi métallique et les matériaux réfractaires forme calorifuge et s'oppose à la fois à une déperdition sensible de chaleur et à la détérioration du métal.

A la partie inférieure de la cuve B, dite de combustion, se trouve le foyer proprement dit O ; le combustible chargé par la trémie S descend jusqu'à la grille *g* et brûle sur cette grille grâce à l'air soufflé, dit air primaire, qui arrive par une tuyauterie *b* débouchant à la partie supérieure du cadre de porte de foyer Q.

Les produits de cette combustion (oxyde de carbone, hydrogène, acide carbonique, azote) se rendent par le carneau P au-dessous de la colonne C, dite de réduction, garnie de coke ou de charbon de bois, suivant la facilité avec laquelle on peut se procurer l'un ou l'autre de ces combustibles.

Une seconde entrée d'air *c*, dit air secondaire, placée dans la partie médiane du carneau horizontal P, assure la combustion partielle des produits de distillation (carbures d'hydrogène) que donnent par rayonnement du foyer les combustibles garnissant la colonne de combustion B. La haute température obtenue par cette combustion assure la dissociation d'une partie des produits de la distillation non brûlés et maintient à une température convenable la colonne de réduction C. Sur cette colonne viennent se décomposer, par réduction, au contact du charbon fortement chauffé, ceux des produits condensables qui n'ont été ni brûlés, ni dissociés avant leur arrivée à cette colonne de réduction.

Des cadres et portes en fonte permettent de décrasser aisément la grille et le carneau P. Si l'on brûle dans le foyer des combustibles ne donnant pas de produits de distillation, l'usage

de la seconde entrée d'air *c* se borne à assurer le maintien en température convenable de la colonne de réduction, cette colonne contribuant, grâce à sa hauteur et à sa température constantes, à la régularité de composition et de richesse calorifique du gaz produit.

Avec les combustibles, tels que le bois, qui renferment une certaine quantité d'eau, il est inutile d'en ajouter au foyer. Quand au contraire on brûle du coke, des charbons maigres, ou des combustibles analogues ne renfermant pas d'eau, on fait arriver un filet d'eau sur les barreaux de la grille du foyer. Cette eau évaporée s'oppose à une élévation trop grande de la température de l'appareil et produit une certaine quantité de gaz à l'eau qui enrichit le gaz de combustion.

A la sortie de la colonne de réduction C, les gaz se rendent par un tube *t* au laveur E. Une cheminée d'allumage D, munie d'un robinet, permet de laisser échapper ces gaz dans l'atmosphère pendant la mise en marche, qui demande un quart d'heure à vingt minutes avec un gazogène complètement froid et cinq à six minutes seulement avec un gazogène arrêté depuis douze heures. Quand le gaz devient combustible, ce dont on s'assure à l'aide d'un petit robinet d'essai de gaz, on ferme la cheminée d'allumage. Les gaz se rendent alors au laveur E, constitué par une série de plateaux à l'intérieur de chacun desquels est une nappe d'eau constamment renouvelée. Pour descendre d'un plateau au plateau inférieur, les gaz doivent plonger dans la nappe d'eau par une série de tubes dénommés plongeurs. Il se produit ainsi une suite de barbotages du gaz dans l'eau qui assurent le lavage et le refroidissement de celui-ci. A la sortie du laveur, les gaz traversent un épurateur F, dit filtre-mousse, constitué par deux chambres *e* et *f* séparées par une cloison intermédiaire, dans lesquelles se trouve placée de la mousse végétale légèrement tassée à la main. Cet épurateur physique arrête les traces de poussières, de vapeur d'eau et de goudrons qui pourraient échapper à l'action du laveur. Les gaz se rendent ensuite au gazomètre G et de là aux appareils d'utilisation. Pour l'alimentation des moteurs à gaz on interpose généralement entre le gazomètre

et le moteur, et le plus près possible de ce dernier, une cloche de faibles dimensions J, dite antipulsateur, ou un poumon en tôle formant poche à gaz.

La capacité du gazomètre est généralement calculée de façon à alimenter pendant au moins dix minutes les appareils ou moteurs travaillant à pleine charge, cette capacité étant suffisante pour assurer les mises en marche et permettre, pendant le travail, les décrassages de l'appareil et les charges de combustible. La cuve du gazomètre est généralement utilisée comme réservoir d'eau pour le lavage et le refroidissement du gaz et le refroidissement du moteur, à moins que l'on ne dispose sans frais d'une quantité suffisante d'eau courante. Une pompe reprend l'eau utilisée pour ces usages et la refoule dans la cuve du gazomètre.

FOUR A GAZ A DISTILLATION RENVERSÉE DE H. RICHÉ

Le four à gaz à distillation renversée de la Compagnie du gaz H. Riché permet d'obtenir un gaz de bois, avec un rendement sensiblement égal au triple de celui auquel on est parvenu dans les divers systèmes d'appareils de distillation du bois utilisés avant la création de cet appareil. Son emploi supprime toute nécessité d'épuration, une fois la distillation faite, en même temps que tout sous-produit susceptible de dégager de mauvaises odeurs ou de créer des dangers d'incendie.

Ce gaz, dit gaz Riché, remplace le gaz de ville dans toutes ses applications : force motrice, chauffages domestiques et industriels, éclairage par incandescence, etc...

Sa richesse calorifique est d'environ 3.000 calories au mètre cube, et sa composition chimique est en moyenne la suivante :

Acide carbonique	18 0/0	en volume
Oxyde de carbone	22 0/0	»
Méthane	15 0/0	»
Hydrogène	45 0/0	»

Ce gaz est donc comparable au gaz de ville et en diffère seule-

ment par l'absence totale de pouvoir éclairant. Son pouvoir calorifique est considérable : la température de sa flamme atteint 2000° et le rend, par suite, éminemment propre à l'éclairage par incandescence.

Sa fabrication qui est des plus simples, ainsi que nous le verrons plus loin, repose sur le principe de la distillation renversée qui consiste dans le passage sur une colonne de charbon de bois, résidu d'une opération précédente, porté au rouge, des produits de la distillation du bois.

Le prix du gaz Riché varie, suivant les ressources locales des petites usines, entre 4 et 6 centimes le mètre cube. D'autre part, comme l'obtention d'un même effet utile en employant le gaz Riché exige une consommation pratiquement égale aux $\frac{5}{3}$ du volume de gaz de ville qui serait nécessaire, le prix de revient d'une opération au gaz Riché équivaut à celui de la même opération que l'on effectuerait avec du gaz de ville dont le prix serait de 7 à 10 centimes le mètre cube.

Un four à gaz est constitué par le groupement dans un même massif de maçonnerie d'un certain nombre de cornues cylindriques, en fonte, disposées verticalement (fig. 32 A), le foyer F destiné à les chauffer étant ménagé à l'intérieur du massif.

Chaque cornue repose par son propre poids dans une gorge circulaire d'un récipient cylindrique C également en fonte et appelé pied de cornue.

Les cornues et les pieds de cornues sont fermés hermétiquement au moyen de portes ou tampons de fermeture. Les gorges des pieds de cornues, dans lesquelles s'emboîtent les extrémités inférieures des cornues, sont garnies d'un mastic spécial constitué par des quantités égales de silicate de soude et de fibre d'amiante fortement triturées. Ce mastic durcit au feu et forme joint.

La partie inférieure A des cornues est garnie, sur une hauteur de 90 cm. à 1 mètre, du charbon de bois résidu d'une distillation précédente.

La partie supérieure B des cornues est remplie du bois à distiller.

Les produits de la combustion dans le foyer F d'un combustible quelconque : bois, copeaux de bois, sciures, coke ou charbon, sortent du foyer par les orifices E. Ils s'élèvent dans les gaînes G autour des cornues et s'échappent à la partie supérieure par les

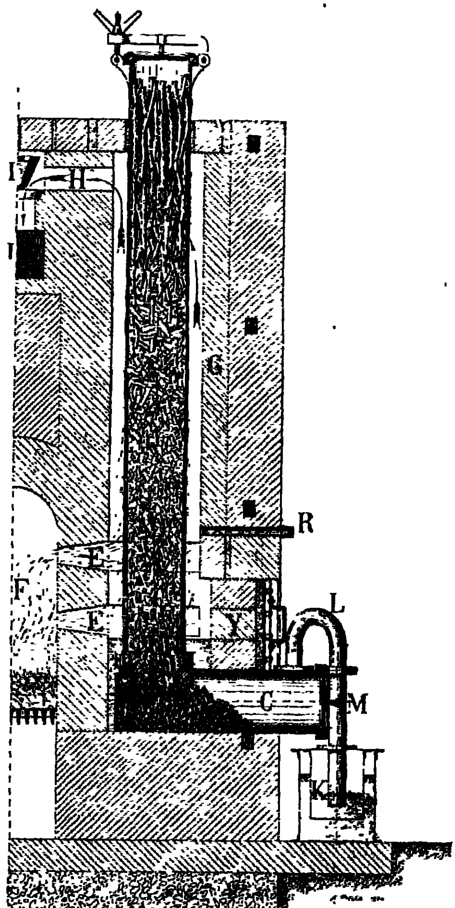


Fig. 32 A. — Coupe du four à gaz Riché à distillation renversée.

ouvertures H vers le carneau de fumée J. Le tirage dans chaque gaîne est réglé par le registre I. Il résulte de ce mode de chauffage que les cornues prennent une température décroissante de bas en haut. Le charbon de bois qui remplit la partie inférieure

est à la température du rouge cerise (900 degrés environ). Un tube regard R, fermé à son extrémité par une plaque de mica ou de verre, permet au chauffeur de surveiller la température de chaque cornue et d'en régler au besoin le chauffage à l'aide du registre I. Le bois que l'on vient de charger en B, se trouvant exposé au rayonnement des parois intérieures de la cornue, qui atteint au plus la température du rouge sombre, distille lentement et fournit de façon régulière des gaz et des vapeurs. Ces gaz et ces vapeurs n'ayant aucune issue vers le haut de la cornue sont obligés de traverser l'épaisse couche de charbon incandescent qui occupe la zone A. Ils subissent là une transformation chimique, les produits condensables étant ramenés à l'état de gaz permanents et l'acide carbonique en grande partie à l'état d'oxyde de carbone.

On recueille dans le barillet K, après passage au travers des trompettes L et des plongeurs M, des gaz épurés dont la composition est tout à fait constante. Le joint hydraulique du barillet K empêche tout retour du gaz en arrière quand on ouvre les cornues pour effectuer une nouvelle charge de combustible à distiller, ou les pieds de cornues, pour retirer le charbon de bois en excès.

Les parois du foyer, des gaînes et des carneaux, dans lesquels circulent les produits de la combustion, sont constituées par une épaisseur convenable de produits réfractaires. Les parois extérieures du four sont en briques ordinaires.

L'ensemble, maintenu par des armatures en fer, est généralement recouvert par une toiture en tôle ondulée.

Un ou plusieurs barillets K réunissent le gaz produit par les diverses cornues, ce gaz se rendant de là au gazomètre.

Le four à gaz à distillation renversée ne nécessite ni laveur, ni réfrigérant, ni scrubber. Un simple épurateur ou filtre renfermant de la mousse végétale suffit pour arrêter les traces de goudron ou de vapeur d'eau qui seraient entraînées. On facilite d'ailleurs la condensation de ces impuretés dans les barillets, en faisant traverser les cuves de ceux-ci par un courant d'eau, la dépense d'eau étant excessivement faible (1/2 litre à 1 litre par mètre cube de gaz).

Chaque cornue étant isolée dans sa gaine, son remplacement peut aisément se faire sans interrompre le fonctionnement des autres. L'élasticité de production des cornues voisines et la réserve constituée par le gazomètre suppriment tout danger de perturbation dans le service des appareils qu'alimente la petite usine à gaz.

L'usure de la cornue, pour laquelle le principe même de l'appareil impose qu'elle soit métallique et verticale, se chiffre après un court apprentissage à moins de 2/3 de centime par mètre cube de gaz produit. Dans plusieurs usines de ce système, la durée des cornues atteint huit mois ; il est préférable pour un calcul d'entretien d'admettre comme durée moyenne 5 mois.

Chaque cornue est susceptible de fournir par heure, suivant la nature du bois distillé, suivant l'expérience de l'ouvrier et le régime de marche continue ou discontinue du four, de 7 à 8 mètres cubes de gaz.

Le nombre de cornues à adopter doit donc être déterminé d'après les chiffres ci-dessus et en tenant compte des données suivantes qui résultent de l'ensemble des applications déjà réalisées :

1° La consommation d'un moteur à gaz par cheval-heure, en marche industrielle, varie de 900 à 1.000 litres de gaz Riché, suivant la puissance.

2° Un mètre cube de gaz Riché, employé à des chauffages quelconques ou à l'alimentation de becs d'éclairage par incandescence, produit dans le même temps, le même effet utile que 600 litres de gaz de houille de la ville de Paris.

Consommation de combustible

Un kilogramme de bois distillé, par combustion au foyer de 400 grammes de houille de qualité moyenne ou de 1.600 grammes de bois, sciures ou déchets, fournit 700 à 800 litres de gaz à 3.000 calories au mètre cube et laissse comme résidu 200 gr. de bon charbon de bois pouvant être utilisé ou vendu comme sous-produit.

Autrement dit, pour produire pratiquement un mètre cube de gaz Riché, il faut :

a)	Bois à distiller	1kg,400
b)	Charbon pour chauffage du four	0kg,600
	ou bien :	
b')	Sciures, copeaux, déchets de bois pour chauffage du four	2kg,400

On retire des cornues une quantité de charbon de bois égale à 20 % environ du poids de bois distillé, soit par mètre cube de gaz 0 kg. 300.

La valeur de ce charbon de bois équivaut dans la plupart des régions à celle du bois qui l'a produit.

GAZOGÈNE A BOIS ET DÉCHETS LIGNEUX « IGNIS » DE M. BÉCHEVOT

La cuve de ce gazogène est formée de viroles concentriques C, L, M, figure 33.

Ce dispositif présente les avantages suivants :

L'air aspiré par les trompes entre dans une chambre de réchauffage entourant les cornues, cet air est introduit entre ces cornues qui constituent chacune un gazogène à combustion renversée. Les produits de la distillation du bois dans ces gazogènes, mélangés à l'air aspiré qui s'est réchauffé au contact des cornues, sont alors introduits dans le gazogène inférieur en réfractaire qui ne reçoit des gazogènes supérieurs que du charbon de bois. Il en résulte que ce gazogène inférieur fonctionne à haute température et que les goudrons provenant des gazogènes supérieurs y sont entièrement brûlés. Dans ces conditions, un seul laveur à coke et un seul épurateur suffisent pour nettoyer le gaz.

Outre l'avantage que présente ce gazogène de porter l'air de combustion à une haute température, la disposition des viroles métalliques composant les gazogènes supérieurs assure à ces gazogènes et au gazogène inférieur une répartition absolument uniforme ; on évite donc l'inconvénient qui se produit lorsqu'on

emploie des buses d'injection, la température étant très élevée devant ces buses jusqu'à fondre les cendres alors qu'entre 2 buses elle est quelque fois très basse. D'autre part, l'air aspiré par les buses étant peu ou pas réchauffé, la température à petite allure

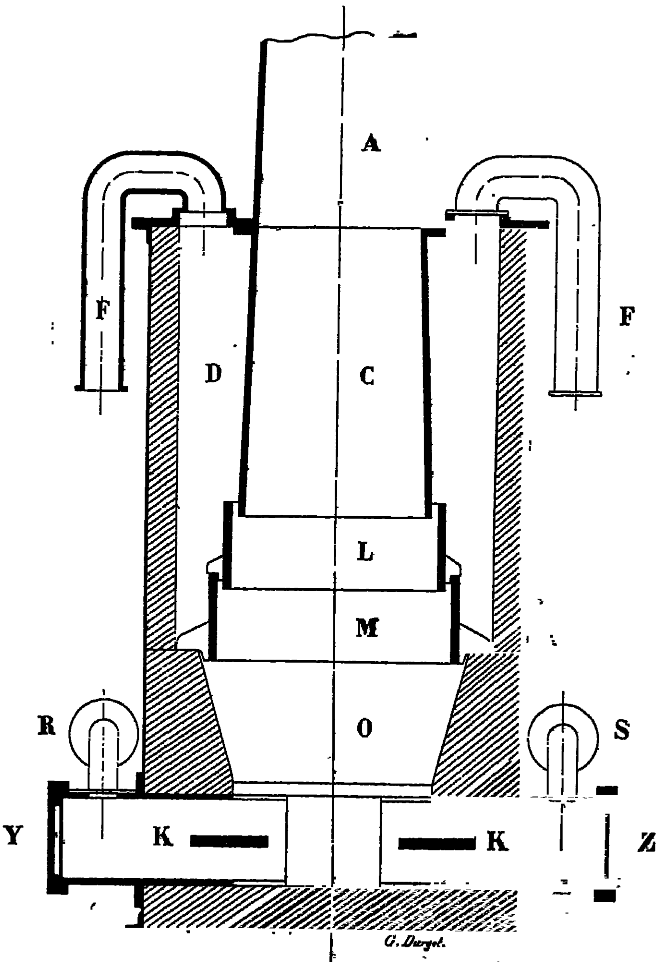


Fig. 33. — Gazogène à bois et déchets, de M. Béchevet (*Ignis*).

est insuffisante pour brûler les goudrons. L'expérience a prouvé que ces appareils fonctionnent parfaitement bien sans encrassement des moteurs.

GAZOGÈNES AU BOIS DE M. FORNAS (fig. 34 et 35)

L'appareil peut brûler toutes les essences de bois, bois dur, bois tendre, bois résineux, sous toutes ses formes ; écorces, branches, cosses, copeaux et tous déchets, et les sciures en mélange. Il peut brûler encore les cosses d'arachides, les pailles ou balles de riz, d'avoine, etc.

La consommation est de un kilo de bois sec par cheval et par heure, que ce soit du bois ou des déchets. Le kilo de bois sec donne un peu plus de deux mètres cubes de gaz à 1.250 calories, soit plus de 2.500 calories à l'heure. Un cheval moteur à gaz, correspond à 1/2 cheval s'il s'agit du chauffage d'une chaudière.

La consommation d'eau est de 10 litres par cheval et par heure, mais comme l'eau de lavage ne sent pas mauvais, on peut la faire reservir plusieurs mois.

L'entretien du gazogène est nul, le bois ne produisant pas de mâchefer, les terres ont une durée illimitée, et les tuyauteries se recouvrent d'un vernis protecteur.

L'encrassement du moteur est tellement faible, que sa bonne marche est possible même avec une bougie d'automobile et une magnéto haute tension.

La surveillance est plus facile qu'avec tout autre gazogène, car les portes regard permettent de surveiller le feu à chaque instant.

L'allumage ne demande qu'une quinzaine de minutes, et on ne souffle au ventilateur qu'une minute. Si l'on dispose d'une pression d'eau de 6 mètres la trompe d'eau formant lavage rend l'allumage automatique.

Le gazogène fonctionne à combustion renversée, l'air arrive par le haut du foyer et l'aspiration se fait par le bas. Les goudrons et les fumées traversent la masse de charbon de bois incandescente et sont totalement détruits.

A la partie supérieure se trouve le chargeur, haut de 1 m. 50 qui reçoit le combustible pour plusieurs heures ; une partie du

chargeur forme sécheur, ce qui permet d'employer du combustible même vert ou humide.

Puis vient le foyer en réfractaire, avec ses orifices de visite qui sont placés à 1 m. 50 du sol. Ce foyer pend au milieu d'une

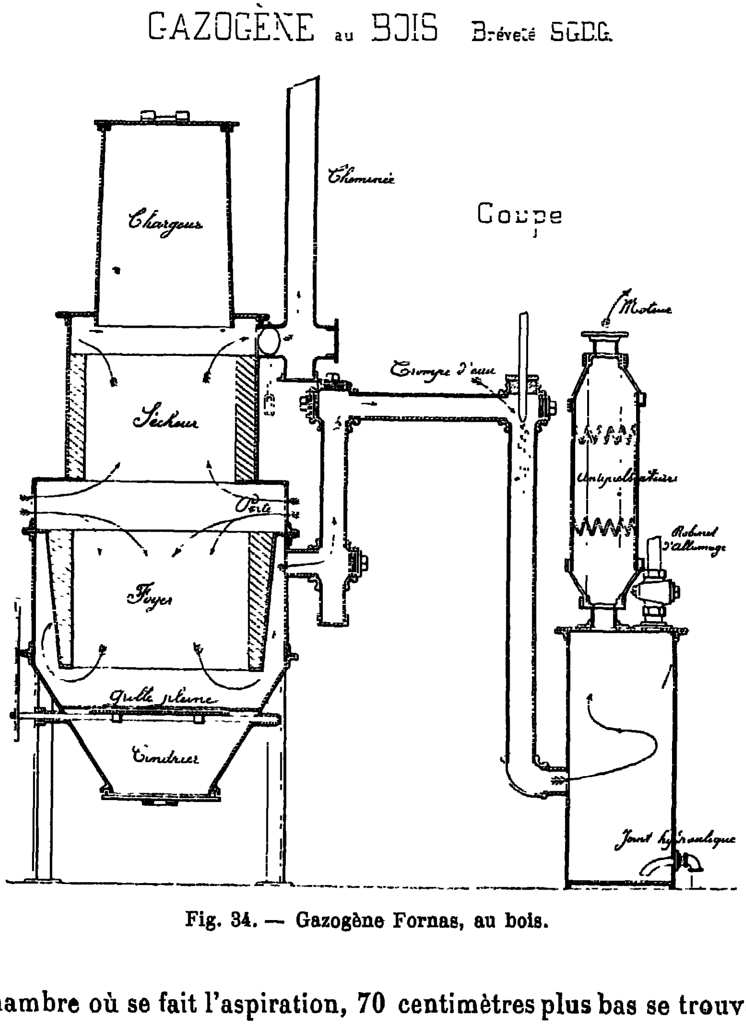


Fig. 34. — Gazogène Fornas, au bois.

chambre où se fait l'aspiration, 70 centimètres plus bas se trouve une grille pleine, qui sert à retenir le combustible ; elle se manœuvre de l'extérieur pour le décrassage, elle n'est pas en contact avec le feu donc ne se détériore jamais. En-dessous se trouve le

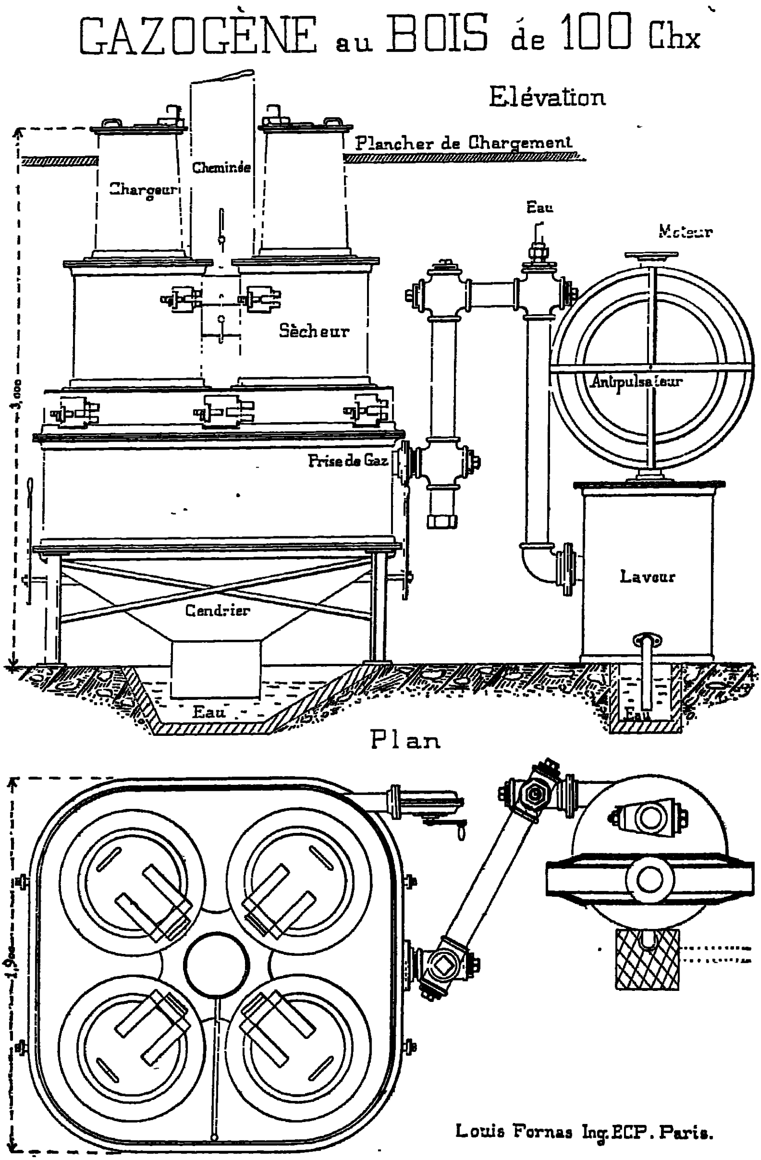


Fig. 35.

cendrier qui peut renfermer les cendres résiduelles de plusieurs jours.

A la sortie du gazogène, les gaz, passent dans un tube vertical où se trouve la trompe d'eau, qui entraîne les gaz, les refroidit et leur enlève les poussières. De là ils passent dans un antipulsateur qui régularise l'aspiration du moteur.

Chaque cornue est susceptible de produire, par heure, sept à huit mètres cubes de gaz, suivant la nature du bois soumis à la distillation et le régime continu ou discontinu du travail.

GAZOGÈNE CROSSLEY POUR DÉCHETS LIGNEUX

Cet appareil est du type à foyer à gradins enfermés dans l'en-

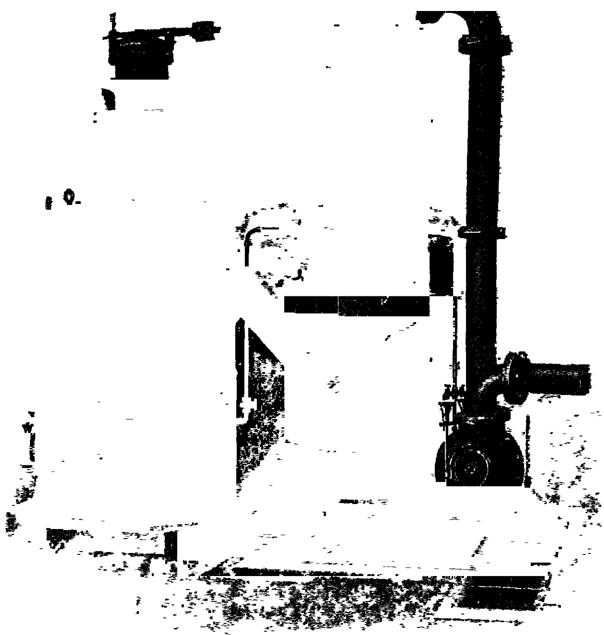


Fig. 36. — Gazogène Crossley pour déchets ligneux.

veloppe du gazogène. Il est muni d'un *épurateur centrifuge à injection d'eau*, que l'on voit à droite de la figure 36, qui en-

traîne les goudrons et impuretés qui auraient pu échapper au scrubber.

Ce gazogène emploie même des déchets de bois contenant jusqu'à 50 °/₀ d'humidité, peuvent être gazéifiés et la consommation varie entre 1 et 2 kilos de déchets par cheval heure au frein, suivant le degré d'humidité du combustible et suivant les dimensions du gazogène. Le pouvoir calorifique du gaz obtenu par les déchets de bois est supérieur à celui obtenu avec le meilleur anthracite.

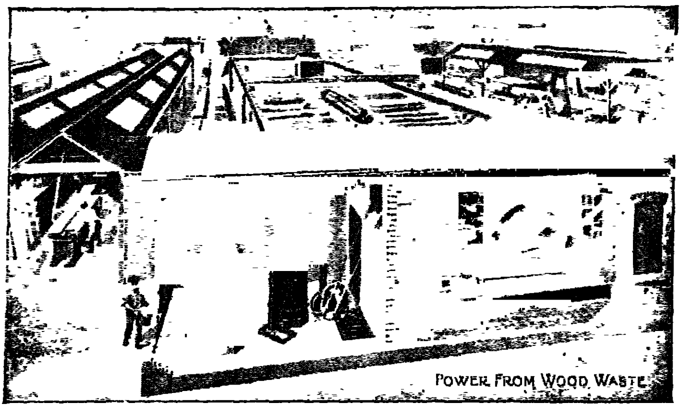


Fig. 37. — Force motrice par déchets de bois.

Ces sciures et déchets sont employés dans les gazogènes spéciaux décrits dans ce livre.

GAZOGÈNE CROSSLEY POUR CHARBONS BITUMINEUX

Beaucoup d'essais ont été faits pendant ces dix dernières années pour créer un gazogène par aspiration, capable de fonctionner au charbon bitumineux non adhérent. Ce combustible est beaucoup plus répandu que le charbon anthraciteux et son prix est bien inférieur à celui de l'anthracite, surtout dans les contrées où l'anthracite doit supporter des frais de transport par terre et par mer.

Le gazogène conçu spécialement pour l'emploi de ces combustibles a un foyer ouvert à gradins et un aspirateur centrifuge à

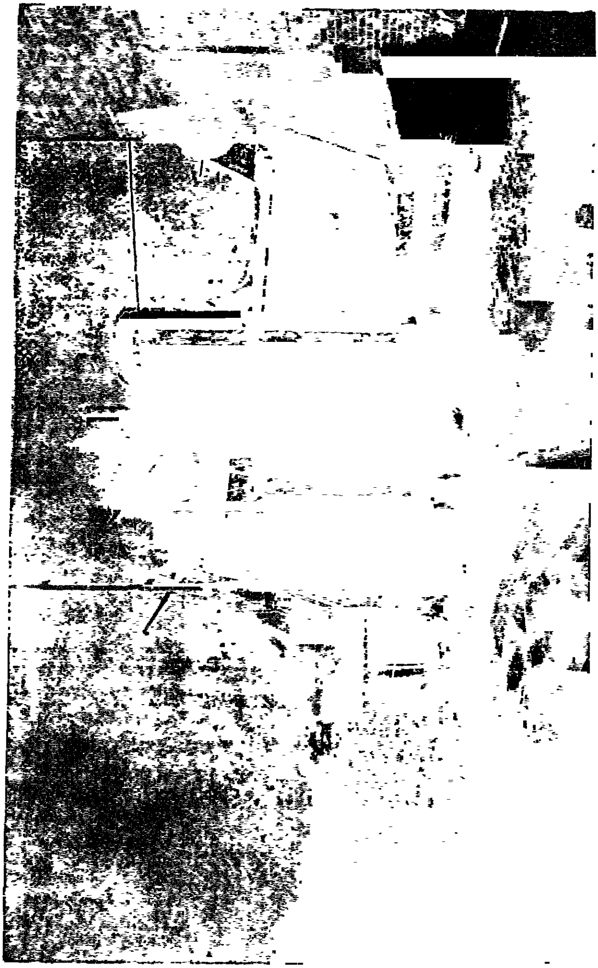


Fig. 38. — Gazogène Crossley de 400 chev. à la tourbe, installé en plein air au Tissage Halmilton Robb à Portadown (Irlande).

Cet établissement consommait chaque semaine 8 1/2 tonnes d'anthracite, dont les dépenses, au prix de 40 francs la tonne, s'élevaient à 340 francs par semaine. La consommation actuelle de tourbe revient par semaine à 150 francs, tandis que le goudron, extrait de la tourbe, représente par semaine une contre-valeur de 45 francs. — Vingt tonnes de tourbe sont fournies aux Usines au prix de 7 fr. 50 la tonne.

injection d'eau, à la sortie du scrubber, afin d'enlever les goudrons. Cet aspirateur permet d'employer directement pour le chauffage, sans gazomètre, le gaz produit dans le gazogène.

Combustibles utilisables.

Il est intéressant de rappeler les diverses qualités de combustibles qui ont été utilisées avec succès dans les cornues des fours à gaz à distillation renversée, ainsi que dans les gazogènes spéciaux que nous venons de décrire.

Bois proprement dit. — Le bois en morceaux consistants de $0^m,20$ à $1^m,00$ de longueur et de 3 à 10 centimètres de grosseur, quelles que soient l'essence et la teneur en eau, jusqu'à 30 % d'humidité, convient parfaitement pour la distillation dans les cornues Riché et fournit les rendements en gaz et en charbon de bois que nous avons indiqués précédemment, soit 70 à 80 mètres cubes de gaz à 3.000 calories au mètre cube et 20 kilogrammes de charbon de bois pour 100 kilogrammes de bois distillé.

Les déchets de bois de toutes natures : débris de démolitions, vieilles traverses de chemin de fer, etc..., fournissent les rendements ci-dessus, et plusieurs usines de ce système n'utilisent point d'autres combustibles.

Sciures et menus déchets de bois. Tannée. — La distillation en cornues Riché des déchets de bois menus ou pulvérulents présentant quelques difficultés, il est préférable d'employer ces sortes de combustibles pour le chauffage du foyer.

Dans les scieries ou ateliers de travail du bois qui utilisent ces appareils, on opère généralement une division des déchets en deux catégories.

Les déchets proprement-dits, en morceaux consistants, sont réservés pour la distillation dans les cornues ; les sciures et menus copeaux sont brûlés dans le foyer de chauffage. La revente

Tourbe. — La tourbe de qualité moyenne convient parfaitement comme combustible dans les cornues des fours à gaz à distillation renversée et dans les gazogènes spéciaux, surtout quand elle ne renferme que peu ou point de produits sulfureux. Ces

derniers paraissent en effet exercer une influence mauvaise au point de vue de la durée des cornues métalliques.

D'un essai effectué en distillant 100 kilogrammes de tourbe provenant d'Avenches (Suisse), on a déduit qu'une tonne de cette tourbe utilisée dans un four à gaz Riché et divisée en 650 kilogrammes pour la distillation dans les cornues et 350 kilogrammes pour la combustion au foyer, produirait 360 mètres cubes de gaz à 3.250 calories et 145 kilogrammes de coke à 6.270 calories.

Avec d'autres tourbes, on a obtenu 60 à 65 mètres cubes de gaz et 30 à 35 kilogrammes de coke pour 100 kilogrammes de tourbe distillés.

Déchets organiques divers. — Les grignons d'olives et quantité d'autres combustibles ont été expérimentés et sont employés avec succès.

Anthracites. Charbons maigres. — Les anthracites et charbons maigres anthraciteux, dont les pouvoirs calorifiques au kilogramme varient de 7.485 à 8.404 calories, suivant les déterminations de Mahler, dont les chiffres font autorité, fournissent d'excellents résultats avec les gazogènes autoréducteurs. Les deux cuves de l'appareil, dont les rôles respectifs ont été indiqués précédemment, ont la meilleure influence sur la régularité du gaz obtenu quand la production varie. Les consommations de ces combustibles par cheval effectif et par heure varient, en marche industrielle, de 450 grammes à 500 grammes, suivant la puissance des moteurs à gaz, leur construction et leur régime de marche, le cheval-heure étant ainsi obtenu avec une dépense de 3.300 à 4.000 calories à l'état de combustible solide.

L'emploi de charbons maigres de qualité médiocre et de pouvoir calorifique voisin de 6.000 calories, est poursuivi avec succès et économie depuis plusieurs années dans bon nombre d'installations de ce système, la dépense moyenne par cheval et par heure étant toujours en pratique comprise entre 3.500 et 4.000 calories à l'état de combustible solide.

Tourbes. Lignites. — Les lignites et tourbes, dont le pouvoir calorifique varie de 3.000 à 6.000 calories, fournissent également de bons résultats avec dépense maxima de 4.000 calories à l'état de combustible solide, par cheval effectif et par heure.

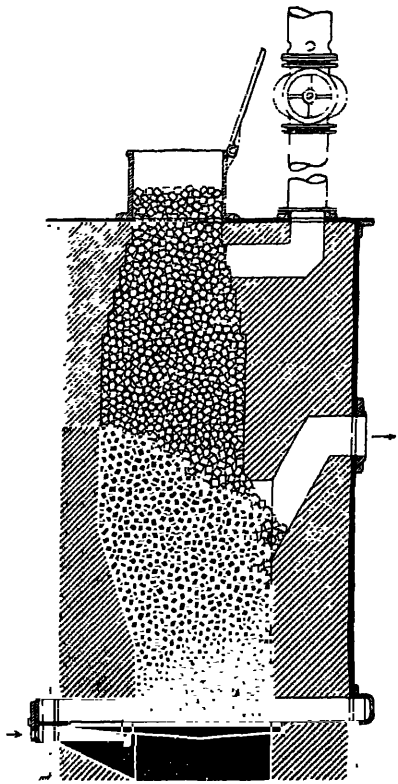


Fig. 39. — Gazogène à lignite de E. Salmson.

Coke. Grésillon. — Le coke, sous toutes ses formes, convient parfaitement. Un grand nombre des usines possédant ces appareils et dans lesquelles on dispose de combustibles ou déchets quelconques moins coûteux à rendement égal, ont recours au coke quand les combustibles plus économiques font défaut. La dépense de grésillon de coke à 7.000 calories varie de 550 à 650 grammes par cheval effectif et par heure suivant la puissance et le régime de marche des moteurs.

Poussier de coke. — Le poussier de coke, dont la teneur en cendres est sensiblement plus élevée que celle du coke et le pouvoir calorifique moins élevé (6.000 calories par kilogramme environ), est seul employé comme combustible à l'usine de Clichy pour l'alimentation d'un moteur de dix chevaux. La dépense journalière est de 70 kilogrammes pour 10 heures de marche; la dépense de bon charbon anthraciteux pour le même travail était de 50 kilogrammes environ, et celle de grésillon de coke de 60 kilogrammes. On peut en déduire que la consommation de poussier à 6.000 calories par cheval et par heure, avec un moteur à gaz de puissance comprise entre 10 et 20 chevaux, serait inférieure à 800 grammes.

Le poussier de coke coûtant à Paris et dans un grand nombre d'autres villes de 7 à 10 francs la tonne, la dépense de combustible par cheval-heure effectif ressort ainsi à moins d'un centime.

Déchets de bois, sciures et copeaux. — Le nombre important d'installations fonctionnant depuis longtemps avec des déchets de bois de toute nature et dans les meilleures conditions de marche régulière et économique, nous dispense de nous étendre sur l'emploi de ces combustibles.

Avec toutes les forces motrices alimentées aux déchets de bois, la dépense par cheval effectif et par heure varie en pratique entre 1 kg. 400 et 1 kg. 700 de bois ou déchets suivant le degré d'humidité de ces combustibles.

La manufacture des allumettes de l'Etat à Saintines obtient depuis plusieurs années avec un groupe moteur à gaz de 60 chevaux et dynamo, le kilowatt-heure avec une dépense inférieure à 4 kg. 700 de déchets de bois à 60 % d'humidité. Ces déchets précédemment brûlés dans un foyer de chaudière ne produisaient pas de vapeur, la chaleur disponible dans le ligneux du bois proprement dit suffisant à peine pour vaporiser, en pure perte, l'humidité du combustible.

Paille, déchets végétaux de toute nature, grignons d'olives,

écorces d'amandes, déchets de pressoirs. — Tous ces combustibles peuvent être employés avec intérêt. Ils ont un pouvoir calorifique assez voisin de celui du bois, à teneur égale en humidité, et la dépense par cheval et par heure varie, suivant ce degré d'humidité, de 1 kg. 500 à 1 kg. 900.

Poids des différents déchets nécessaires pour la production d'un cheval-heure (d'après Crossley)

Tourbe à 25 % d'humidité	1.150	gr. par	cheval-heure
Lignite	1.000	»	»
Déchets de bois 50 % d'humidité	1 000 à 2.000	»	»
Résidus de tannerie	2.200	»	»
Suie de locomotive	700 à 1 200	»	»
Coquilles de noix de coco	700 à 1.500	»	»
Gousses de riz	1.400 à 1.800	»	»
Noyaux de maïs	1.600	»	»
Déchets d'olives	900	»	»
Résidus de canne à sucre	900 à 1.200	»	»

QUATRIÈME PARTIE

—

LA FORCE MOTRICE PAR LE GAZ PAUVRE

CHAPITRE PREMIER

—

AVANTAGES DU GAZ PAUVRE POUR LA FORCE MOTRICE

La production de la force motrice par le gaz pauvre présente les avantages suivants :

Simplicité et robustesse des machines.

Emplacement restreint.

Suppression des cheminées et de la fumée.

Réduction des frais d'installation.

Suppression du danger d'explosion des chaudières.

Pas d'autorisation administrative à demander et à obtenir (*même dans les endroits habités,* le moteur à gaz pauvre s'installe *sans aucune formalité*).

Absence d'odeur et de fumées.

Diminution des frais de personnel et pas de nécessité d'avoir des chauffeurs et mécaniciens de profession.

Diminution des frais d'assurance incendie et accidents.

Mise en train très rapide (10 à 15 minutes).

Pas de consommation de combustible avant la mise en train.

Consommation de 1 à 2 centimes par cheval-heure, inférieure à celle des moteurs à vapeur, à gaz ou électriques.

Telles sont les raisons qui militent en faveur de l'adoption du moteur à gaz pauvre ; nous allons donner ci-après les résultats comparatifs empruntés à des professionnels du gaz pauvre : on verra que, pour les petites et les moyennes forces jusqu'à 200 chevaux, le gaz pauvre est de beaucoup plus économique que la vapeur et que même pour les grandes puissances il lutte avantageusement avec les meilleures machines à vapeur. Quant au gaz de ville et à l'électricité, le gaz pauvre leur est toujours supérieur au point de vue de la dépense par cheval-heure.

Pour les petites forces, au-dessous de 50 chevaux, la machine à vapeur, même perfectionnée, consomme par cheval-heure effectif 2 kilog. de charbon de bonne qualité. En comptant la tonne à 25 francs, le cheval-heure de la machine à vapeur coûte 0 fr. 05, soit pour 300 jours de marche annuelle à dix heures par jour et pour une force de 30 chevaux, par exemple :

0 fr. 05 $\times$ 30 $\times$ 300 $\times$ 10 = 4.500 francs de combustible [1]

Pour un moteur à gaz pauvre de 30 chevaux, la consommation par cheval-heure ne dépasserait pas 430 grammes, soit en comptant l'anthracite à 45 francs la tonne, 0 fr. 018 le cheval-heure.

Soit pour 300 jours de marche annuelle, à dix heures par jour : 0 fr. 018 $\times$ 30 $\times$ 300 $\times$ 10 = 1.620 francs.

L'économie réalisée par le moteur est donc de : 4.500 francs — 1.620 francs = 2.880 francs.

Cette économie est celle réalisée sur le combustible, mais il faut encore y ajouter celle résultant de la suppression du chauffeur et de la diminution des frais de graissage et d'entretien.

On arrive ainsi à une économie réelle de 70 à 80 % sur la machine à vapeur.

La Société des moteurs Duplex établit ainsi qu'il suit la comparaison entre le gaz pauvre, la vapeur et l'électricité :

Supposons, pour prendre un exemple de pratique courante et

---

[1] Tous les calculs comparatifs ci-après sont établis aux prix d'avant la guerre 1914-1918; il suffit de multiplier par 3 pour avoir à peu près les chiffres admissibles en 1922.

assez moyen, qu'il s'agisse d'une industrie nécessitant une puissance voisine de 40 chevaux, susceptible d'en employer accidentellement 50 ou 55, qu'elle soit en activité 10 heures par jour et 300 jours par année.

Son propriétaire a le choix entre trois solutions : la vapeur, le gaz pauvre et l'électricité.

S'il choisit la *vapeur*, pour faire peu de dépense de place, de maçonneries et de premier achat, il prendra une demi-fixe de 50 chevaux. Une machine de ce genre, un peu perfectionnée, lui coûtera, en nombre rond, treize mille francs.	13.000 fr.
Les fondations et travaux d'aménagement s'élèveront à environ quinze cents francs	1.500 fr.
Au total	14.500 fr.
Soit amortissement annuel de........	1.450 »
Un chauffeur mécanicien se paie........	1.800 »

Pour une marche moyenne de 40 chevaux, la consommation par cheval-heure est sensiblement la même qu'à pleine charge, 1 k. 500, cendres non comprises, soit, avec 12 % de cendres, 1 kg. 700.

Il faut donc compter une consommation annuelle, correspondant à 120.000 chevaux-heure, de 204 tonnes de charbon à 19 francs la tonne sur le carreau de la mine, c'est-à-dire, valant rendu, à quelque chose près, 25 francs la tonne.

L'industriel dépensera donc en charbon	5.100 fr.
La dépense d'huile est d'à peu près 5 grammes par cheval-heure, soit, par an, 600 kilos, à 0 fr. 85........	510 »
Il ajoutera, pour réparations courantes, entretien, nettoyages, piquages de chaudières........	500 »

Et il peut résumer comme suit, ses dépenses annuelles de force motrice :

Amortissement de frais de 1er établissement........	1.450 fr.
Chauffeur mécanicien	1.800 »
Combustible........	5 100 »
Huile graissage	510 »
Frais divers d'entretien........	500 »
Au total........	9.360 fr.

pour 120.000 chevaux-heure.

Le cheval-heure ressort, pour lui, au prix net de :

$$\frac{9.360}{120.000} = 0 \text{ fr. } 078 \text{ (soixante-dix-huit millimes).}$$

S'il choisit le *gaz pauvre*, sa première dépense sera un peu plus élevée :

Moteur et gazogène installés lui coûteront environ.........	15.000 fr.
Les fondations et travaux divers..........................	3.000 »
Au total......................	18.000 fr.
Soit un amortissement annuel de..........................	1 800 »
L'homme préposé à la conduite d'un moteur de cette puissance n'y est pas occupé plus du quart de son temps; comptons-le toutefois pour..........................	1.000 »

Notre moteur de 50 chevaux, alimenté par notre gazogène correspondant consomme à pleine charge, 400 grammes, et pour une marche moyenne à 40 chevaux, 450 grammes de charbon maigre par cheval-heure, cendres non comprises ; c'est-à-dire, en tenant compte de 8 % de cendres, 0.500 de charbon brut.

Cela fait par an, pour 120.000 chevaux-heure, 60 tonnes. Or il s'agit de charbons maigres français ou anthraciteux régionaux en grains de 10/20, dont le prix sur le carreau de la mine, oscille suivant les régions entre 19 et 35 francs, soit au grand maximum 40 francs la tonne rendue.

L'industriel doit donc compter pour le combustible, une dépense annuelle de..................................	2.400 fr.
Pour l'huile, il peut prendre le même chiffre que pour la machine à vapeur, bien que 4 grammes par cheval-heure soient grandement suffisants pour le moteur, donc.......	510 »
De même pour l'entretien................................	500 »

Sa dépense annuelle de force motrice se décompose, cette fois, comme suit :

Amortissement..	1 000 fr.
Conduite...	1.000 »
Combustible..	2 400 »
Huile de graissage.......................................	510 »
Frais divers d'entretien.................................	500 »
Au total......................	6 210 »

pour 120.000 chevaux-heure.

Le cheval-heure lui revient donc net, à francs

$$\frac{6.210}{120.000} = 0 \text{ fr. } 051 \text{ (cinquante-et-un millimes).}$$

S'il choisit le courant électrique, il doit tenir compte pour le moteur d'un rendement de 85 %, et pour le réducteur de vitesse,

engrenage ou renvoi, d'un rendement de 95 %, soit pour l'ensemble, un rendement net de 81 %.

Dès lors, l'équivalent électrique du cheval-vapeur étant de 0 kw. 736, il lui faudra, pour obtenir un cheval-heure utilisable, acheter :

$$\frac{0 \text{ kw. } 736}{0{,}81} = 0{,}9 \text{ kilowatt-heure.}$$

En conséquence, pour que l'électricité puisse, au point de vue de l'économie, entrer en comparaison avec la vapeur elle-même, il faudrait que le kilowatt-heure fût vendu net, au plus :

$$\frac{0{,}078}{0{,}9} = 0 \text{ fr. } 087 \text{ (quatre-vingt-sept millimes).}$$

Or, ce prix n'est pratiqué par aucune centrale électrique.

A plus forte raison la comparaison ne peut-elle être faite avec le gaz pauvre, car il faudrait, pour qu'elle fût possible, que l'on vît tomber le prix net du kilowatt-heure, à :

$$\frac{0{,}051}{0{,}9} = 0 \text{ fr. } 057 \text{ (cinquante-sept millimes).}$$

Encore supposons-nous implicitement, en raisonnant ainsi, que les kilowatts se transforment en chevaux, sans aucun frais. Or, il n'en est rien.

L'électricité doit entrer chez le consommateur par un branchement et un tableau, en traversant un compteur. Elle ne devient force motrice qu'en agissant dans un moteur électrique.

Branchement, tableau, compteur, moteur électrique ne sont pas fournis gratuitement par la centrale : il faut les acquérir et les amortir, ou les louer ; le moteur électrique consomme lui aussi de l'huile de graissage, de même que le réducteur de vitesse ou le renvoi, et la marche de ces appareils n'est pas sans nécessiter une certaine surveillance.

Il en résulte que, même vendue à raison de *6 centimes* le kilowatt-heure, dans le cas envisagé, l'électricité serait encore un agent de force motrice notablement plus coûteux que le gaz pauvre.

Ajoutons que généralement le prix de vente de l'électricité est de beaucoup supérieur à 6 centimes le kilowatt-heure ; elle est vendue 12 centimes aux grandes usines des environs de Paris qui font avec les secteurs des marchés de longue durée.

Nous empruntons les documents ci-après à une très intéressante étude faite par M. E. François, ingénieur chargé de cours à l'Université de Bruxelles (*Revue Universelle des Mines* tome XXVI, 1909) ; ils éclairent parfaitement la question de l'économie à attendre du gaz pauvre pour la production de la force motrice :

« En 1902, la consommation était déjà assez réduite, elle atteignait en moyenne 0 kg. 550 par HP-heure pour un moteur de 50 HP et nous citions, comme « un record inférieur à toutes les prévisions », la consommation d'un moteur de Winterthur de 40 HP ne dépassant pas 0 kg. 436 en pleine charge. Afin de nous rendre compte des progrès réalisés en ces dernières années et des étapes parcourues, examinons quelques résultats d'essais obtenus depuis 1905 jusqu'en 1908.

Les résultats indiqués dans les tableaux (p. 136-137) expriment la consommation nette, c'est à-dire humidité et cendres déduites.

Les consommations obtenues sur tous ces moteurs sont certes très intéressantes, mais ellés ne sont possibles que par l'emploi de combustibles de choix, telles que les braisettes anthraciteuses lavées d'un criblage de 15/22 ou 20/30, parfaitement dépoussiérées avant enfournement, contenant moins de 6 °/₀ de cendres et coûtant environ 22 francs à la mine. Le dépoussiérage fait perdre en outre environ 10 °/₀ du charbon.

Les constructeurs de machines à vapeur et surtout de demi-fixes s'efforcèrent de créer des machines aussi économiques que les moteurs à gaz pauvre ; si l'on tient compte que les chaudières brûlent parfaitement des charbons coûtant moitié moins, on peut dire qu'ils ont atteint leur but.

Des constructeurs allemands se sont spécialisés dans la fabrication des machines à vapeur semi-fixes. Ces constructeurs se sont ingéniés à appliquer à leurs machines tous les dispositifs connus ayant pour but de réduire la consommation, tels que :

Expansion, double et triple ;
Marche à haute pression, 10 à 12 atm. ;
Marche à condensation ;
Réchauffement de l'eau d'alimentation ;
Surchauffe simple, double et même triple ;
Grande vitesse et distribution de précision ;
Réduction des espaces nuisibles et des surfaces de refroidissement ;
Admission variable par le régulateur ;
Suppression des conduites de vapeur extérieures ;
Réchauffage des parois des cylindres, etc.

Par la combinaison de ces moyens, on a pu obtenir dans des essais de très beaux résultats. Il faut reconnaître cependant que ces consommations extraordinairement réduites pour de petites machines à vapeur ne sont obtenues qu'en sacrifiant la simplicité des appareils, et par conséquent leur sécurité de marche.

C'est ainsi que deux spécialistes fameux, se faisant une concurrence acharnée, se livrent dans leurs publications à une vive polémique, dans laquelle ils se reprochent mutuellement de faire des machines beaucoup trop compliquées, chacun traitant d'expériences de laboratoire les essais publiés par l'autre.

Si la surchauffe est définitivement implantée dans les grandes centrales de production de force motrice, ce que nous disions en 1902 est toujours vrai, pour les petites et moyennes puissances, à savoir : « Que la faible économie que donne la surchauffe ne compense pas la dépense nécessitée par le salaire plus élevé d'un chauffeur habile à conduire cette installation compliquée, par le coût considérable du graissage et par les réparations plus nombreuses ». Ainsi, par exemple, on a remarqué aux chemins de fer de l'Etat Belge, que les locomotives à vapeur surchauffée ont un coefficient d'utilisation sensiblement moindre que les autres.

Si la surchauffe donne de beaux résultats dans les essais, il n'en est pas de même en pratique, car le machiniste, craignant toujours de faire gripper son piston ou de brûler son surchauffeur, ne marche en général qu'à un degré de surchauffe modéré.

Résultats d'essais sur une série de moteurs de 6 à 140 HP. à gaz pauvre aspiré

Construction	Destination	Puissance du moteur en HP	Consommation nette par HP-h.	Temps nécessaire à l'allumage en minutes
			kg.	
Otto-Deutz 1905	Station élévatoire d'eau de Lillois-Witterzée	6,5	0,480 (1)	20
Otto-Deutz 1906	Station élévatoire d'eau d'Ottignies	12	0,450 (2)	45
Winterthur 1905	Station élévatoire d'eau de Waterloo	25	0,360 (2)	20
Winterthur 1906	Station élévatoire d'eau de Braine-l'Alleud	35	0,308 (2)	10
Winterthur 1907 Essayé par M. le Pr Boulvin	Station élévatoire d'eau d'Onoz	40	0,346 (2)	»
Bollinckx 1907 id.	Id.	40	0,381 (2)	»
Otto-Deutz 1908	Scierie à bois Société Ateliers Suy à Gand	40	0,375 (2)	»
Dubridge 1908	Éclairage Magasin Franchomme, Bruxelles	55	0,392 (3)	»
Otto-Deutz 1906	Ateliers de la Senne, Bruxelles, en demi-charge	60	0,480	40
Otto-Deutz 1907	Frigorifères des Halles Centrales, à Bruxelles	140	0,360 (2)	»

(1) Braisettes anthraciteuses lavées $^{15}/_{22}$ dépoussiérées avant enfournement.
(2) » » $^{20}/_{30}$ » » »
(3) » » $^{6}/_{20}$ » » »

Résultats d'essais sur une série de semi-fixes de 25 à 260 HP

Type de machine	Nom de l'expérimentateur	Puissance au frein	Consommation par HP·h. effectif	
			Vapeur	Charbon
			kg.	kg.
R. Wolf, à piston-valve, mono-cylindrique à vapeur surchauffée et condensation.	M. R. Mathot, Bruxelles	25	—	1,002
R. Wolf, à piston-valve, compound tandem, à double surchauffe et à condensation 20 à 42 HP.	Id.	35	4,9	0,608
H. Lanz, à tiroir, $p = 10$ atmosphères, compound à condensation.	Id.	42,4	6,57	0,716
Id.	M. le Pr Daubresse, de Louvain	51,5	11,10	1,20
R. Wolf, à piston-valve, compound à double surchauffe et à condensation.	M. le Pr Gutermuth, de Darmstadt	105	3,95	0,474
H. Lanz, à soupapes, compound à condensation.	Association Badoise pour la surveillance des chaudières à vapeur	129,11	4,95	0,550
R. Wolf, à piston-valve, compound à simple surchauffe et condensation.	M. le Pr Gutermuth, de Darmstadt	134	5,6	0,633
H. Lanz, à soupapes, à vapeur surchauffée, compound à condensation.	M. le Pr Josse, de Charlottenburg	140 à 168	4,60	0,52
Id.	M. le Pr Schröter, de Munich	220 à 260	4,43	0,50

La lutte entre le moteur à gaz et la machine à vapeur ne se restreignait donc pas uniquement à la question de consommation : la sécurité de marche et la facilité de conduite et d'entretien étaient également en cause. On voit que la machine à vapeur ne devient très économique, qu'en se compliquant outre mesure pour des puissances petites et moyennes ; tandis que les installations à gaz pauvre évoluent inversement, puisqu'elles deviennent effectivement plus économiques en se simplifiant, ainsi que nous le verrons plus loin.

On peut conclure de ces chiffres que la machine à vapeur semi-fixe devenait une rivale dangereuse pour le moteur à gaz. En effet, la moyenne des consommations des moteurs à gaz est, d'après le tableau précédent, par HP-heure effectif et aux essais, de 0 kg. 360.

La consommation moyenne des semi-fixes à vapeur surchauffée, d'après le tableau ci-dessus, par HP-heure effectif et aux essais, est de 0 kg. 550.

En comptant l'anthracite dépoussiéré à	24 fr. 50
Et le charbon pour chaudière à	13 fr. 00

Le coût moyen du HP-heure effectif serait :

A gaz pauvre	0 kg. 360 × 0 fr. 0245 = ...	0 fr. 0088
A vapeur	0 kg. 550 × 0 fr. 013 = ...	0 fr. 00715

en combustible sur le carreau de la mine.

Mais nous n'hésitons pas à dire que la sécurité de marche d'une semi-fixe, avec chaudières à tubes de fumée et à haute pression, distribution par soupapes ou pistons-valves, surchauffe simple ou double, machine compound à grande vitesse installée dans le conduit des gaz brûlés, etc., n'est pas comparable à la sûreté absolue de fonctionnement offerte par une bonne machine stationnaire à une allure modérée alimentée de vapeur saturée par une chaudière à foyer intérieur.

Le fonctionnement précaire, la conduite difficile et l'augmentation des frais d'entretien, sont fatalement la rançon des artifices accumulés permettant l'obtention, aux essais, de consommations aussi basses.

Afin de conserver au moteur à gaz sa supériorité, les construc-

teurs de gazogènes ont été amenés à chercher l'utilisation des combustibles inférieurs à bon compte ; c'est-à-dire qu'ils sont entrés dans la véritable voie de l'économie, envisageant le prix de la consommation et non plus comme auparavant, uniquement le poids de combustible brûlé ».

M. E. François cite ici divers gazogènes employant les charbons maigres, le coke et les déchets de bois, on a vu déjà plus haut la description et les résultats de ces appareils qui abaissent à 1 centime le prix de revient du cheval-heure ; il termine son étude par une très documentée comparaison entre différents moteurs les plus modernes au point de vue du coût de la force motrice :

« Le choix du moteur à adopter préoccupe à juste titre l'industriel, car aucun moteur ne peut être dans tous les cas supérieur à tous les autres ; il convient donc, dans chaque cas particulier, de faire une étude comparative tenant compte de toutes les conditions locales.

D'une manière générale, on peut cependant les classer dans l'ordre suivant :

Pour les très petites forces, jusqu'à 2 HP, le moteur électrique ;

Pour les petites forces, de 2 à 10 HP, le moteur à gaz de ville ;

Pour les forces moyennes, de 15 à 100 HP, le moteur à gaz pauvre ;

Pour les forces de plus de 100 HP, la machine à vapeur ;

Pour les forces de 2.000 HP, la turbine à vapeur.

Cet ordre n'a rien d'absolu et peut être interverti selon les circonstances locales ; ainsi certains facteurs influent d'une façon tout à fait déterminante sur le choix du moteur : tels sont, par exemple, la durée annuelle de fonctionnement, l'intermittence de marche, les variations de régime, l'élasticité nécessaire dans la puissance disponible, le prix du combustible ou du courant, la présence de gaz de hauts-fourneaux ou de fours à coke, ou de flammes de fours, l'absence d'une canalisation d'énergie électrique ou de gaz d'éclairage, etc.

Exemple de comparaison entre le gaz pauvre, le gaz de ville et l'électricité à Liège

Puissance du moteur : 15/18 HP.

Dépenses de premier établissement

Désignation		Gaz pauvre	Gaz de ville	Electricité
Moteur complet avec accessoires	fr.	6.250	4.250	»
Réservoirs réfrigérants	»	400	400	»
Fondation	»	300	300	50
Pièces de réserve	»	200	20	»
Aménagement du local	»	500	300	120
Divers	»	100	80	»
Appareil de transformation, tableau et moteur	»	»	»	3.880
Capital engagé	»	7.750	5 250	4.050
EXPLOITATION				
Prix de l'anthracite $^8/_{12}$ en soute	fr.	15,00	»	»
Prix du mètre cube du gaz de ville	»	»	0,10	»
Prix du courant par kw-h. H. T.	»	»	»	0,04
plus par kw disponible et par an	»	»	»	120,00
Nombre d'heures de marche par an		3 000	3.000	3.000
Puissance moyenne développée HP		15	15	15
Rendement industriel combiné du moteur et du transformateur 0,9 × 0,86		»	»	0,775
Consommation industrielle par HP-h.		0 kg. 500	0 m³, 600	0 kw, 950
Consommation pour 15 HP × 3 000 = 45000 HP-h.		340	2.700	1.710
Redevance pour 17 kw disponibles		»	»	2.040
Huile de graissage		60	60	15
Coton et matériel de nettoyage		30	30	5
1 chemise réfractaire		30	»	»
Machiniste		250	150	100
Réparations courantes		150	100	75
Annuité pour intérêt du capital à 6 % et amortissement en 15 ans, soit 10,3 %		800	540	417
Dépenses annuelles	fr.	1 660	3.580	4.362
Prix du HP-heure	»	0,037	0,08	0,097

Dans ces derniers temps, de nombreuses stations centrales d'électricité importantes se sont établies dans différents centres, dans le but de livrer l'énergie électrique aux industries de toute importance. Ces exploitations rendent de grands services, mais

il arrive cependant que la solution qu'elles offrent aux industriels ne présente pas d'avantages sur l'installation d'un moteur.

On peut leur reprocher, suivant les cas :

1° De vendre le courant trop cher ; ou,

2° De ne pas se plier suffisamment aux besoins et aux risques de l'industrie, limitant trop étroitement le maximum de puissance disponible et exigeant des minima de consommation trop élevés ; ou,

3° De ne pas donner de garantie efficace de sécurité de marche, ou encore,

4° De nécessiter des installations de transformation d'un coût parfois assez élevé.

Exemple de comparaison entre la force motrice à vapeur et à gaz pauvre, pour le pays de Waes (d'après M. E. FRANÇOIS)

Puissance nécessaire .... 100 HP eff.

Cette installation est destinée à actionner :

a) Un atelier, absorbant................................	40 à 65 HP.
b) L'éclairage électrique de cet atelier..................	20 HP.
c) L'éclairage électrique d'une gare.....................	20 HP.
La charge est donc très variable, puisqu'elle atteint pendant le jour toute l'année.....................	40 à 65 HP.
Le soir de 16 à 18 h. en hiver.........................	80 à 100 HP.
Le soir de 18 à 22 h. et le matin de 5 à 7 h. en hiver.	20 HP.

Machine à vapeur

PUISSANCE. — Nous avons conseillé une machine Corliss, monocylindrique à condensation.

Désignation	Puissance indiquée	Puissance effective	Pression moyenne
En régime économique........................	110 HP	100 HP	3,15
En régime forcé continu......................	144 »	135 »	4,10
En surcharge momentanée....................	210 »	190 »	5,95

Puissance et consommation de vapeur sèche par HP-heure, correspondant à différentes admissions.

Admission environ %	5	10	15	20	25	30	40
Puissance HP-h	64	95	122	144	164	181	181
Consommation par HP-h. kilog....	7	6,9	6,9	7,5	8	8,6	9,6

La quantité d'eau disponible étant insuffisante, il a été prévu un réfrigérant pour l'eau de condensation.

Diamètre du cylindre	400 mm.
Course du piston	800 mm.
Nombre de tours par minute	80
Pression au cylindre	8

Dépenses de premier établissement

Machine à vapeur de 100/135 HP eff. à condensation	fr.	9.500
Chaudière à foyer intérieur de 60 m²	»	5.000
Tuyauteries diverses, environ	»	2.000
Pompe d'élévation de l'eau chaude	»	200
Séparateur d'huile de la vapeur d'échappement	»	750
Réfrigérant genre Balke, environ	»	2.000
Cheminée. environ	»	1.500
Fondations machine et chaudière, environ	»	2.400
Aménagement du bâtiment, avec réservoir de 35 m³ sur toit	»	10.000
Pont roulant à main, portée 4 m. 500	»	2.000
Capital engagé	fr.	35.350

Dépenses de combustible

Consommation de vapeur sèche par HP-I-heure, garantie par le constructeur		6 kg. 9
Consommation de vapeur par HP-I-heure, en marche industrielle pour une charge moyenne de 50 HP, résultant du diagramme des puissances développées, à chaque heure du soir		7 kg. 5
Rendement mécanique de la machine en pleine charge		0,90
Rendement mécanique de la machine en demi-charge		0,82
Vaporisation industrielle par kilog. de charbon brut correspondant à la charge de 50 HP		7 kg. 5
Condensation de vapeur dans la conduite en pleine charge		2,5 %
Condensation de vapeur dans la conduite en demi-charge		5 »
Prix du charbon à pied d'œuvre	fr.	17
Travail annuel en HP-heure effectifs		170.000

Consommation nette annuelle de charbon :

$\frac{7,5 \text{ kg.}}{7,5 \text{ kg.}} \times 170.000$ HP-h. $\times$ fr. $0,017 : (0,82 \times 0,95) =$ fr. 3.700

On estime le charbon nécessaire à réparer les pertes de chaleur pendant les arrêts, par m² et par 24 heures à kg. 2

Heures d'arrêt par an, environ 4.500

Dépense annuelle de ce chef :

60 m² $\times$ (2 kg. : 24 h.) $\times$ 4.500 h. $\times$ fr. 0,017 = ... fr. 380

Consommation brute annuelle de charbon :

3.700 fr. + 380 fr. = ... fr. 4 080

Prix de revient d'exploitation

L'amortissement d'une machine à vapeur faisant un service de 17 heures par jour peut se faire en 15 ans.

Annuité par laquelle un capital de 100 francs placé à 4 % est amorti en 15 ans	9 fr.
Annuité comprenant l'intérêt et l'amortissement : 35.350 fr. × 0.09 =	3.180 »
Consommation de charbon	4.080 »
» d'huile par jour, 1 fr. 25	370 »
» de coton par jour, 0 fr. 50	150 »
2 machinistes-chauffeurs, 1 de jour et 1 de nuit, à 4 fr.	2.400 »
Entretien et réparations courantes	150 »
Dépenses annuelles	10.330 fr.
Prix de revient du HP-heure : 10.330 fr. : 170.000 HP-heure =	0,061 »

Installation à gaz pauvre

Etant donné les fortes variations de régime, l'installation de deux moteurs à gaz pauvre était tout indiquée, le second n'étant mis en marche qu'aux heures de coïncidence du travail de l'atelier et de l'éclairage de la gare.

Dépenses de premier établissement

Deux moteurs de 50/60 HP chacun avec deux gazogènes	28.000 fr.
Diverses tuyauteries supplémentaires	500 »
Un compresseur d'air	500 »
Réservoirs réfrigérants	600 »
Deux fondations, environ 45 m³ à 30 francs	1.350 »
Mise en marche et instruction du machiniste	150 »
Aménagement du bâtiment	12.000 »
Pont-roulant et palan	2.200 »
Raccordement au gaz de ville comme secours	250 »
Capital engagé	45.550 »

Dépenses de combustible

Nombre de HP-heure par an	170.00
Consommation par HP-heure d'anthracite brut	0 kg. 390
Consommation par feu dormant et par heure	3 kg. 600
Durée annuelle des feux dormants	5 750 h.
Consommation annuelle d'anthracite brut : (0 kg. 390 × 170 000 HP-heure) + 3 kg. 60 × 5.750 h) =	87.000 kg.
Prix de l'anthracite 8-12 à pied-d'œuvre	18 fr. 50
Dépense de combustible 87 t. × 18 fr. 50 =	1.610 fr. 00

Prix de revient d'exploitation

L'usure d'un moteur à gaz est plus rapide que celle d'une machine à vapeur ; mais étant donné que la durée moyenne journalière de fonctionnement de chaque moteur est en hiver de (17 h. + 4 h.) : 2 = 9 $^{1}/_{2}$ heures, et en été seulement de 15 : 2 = 7 $^{1}/_{2}$ heures, nous pouvons amortir l'installation également en 15 ans.

Annuité comprenant l'intérêt à 4 % du capital et l'amortissement en 15 ans, soit 9 %, 45.550 fr. × 0,09 = ..	4.100 fr.
Combustible	1 610 »
Huile de graissage	500 »
Coton à 0 fr. 50 par jour	150 »
Deux machinistes à 4 fr. par jour	2.400 »
Entretien et réparations courantes	300 »
Dépenses annuelles	9.060 fr.
Prix de revient du HP-heure : 9.060 fr. : 170.000 HP-heure = ...	0 fr. 0534

Observation. — Dans ce cas spécial, où il s'agit d'une administration pouvant obtenir des capitaux à 4 %, le HP-heure à gaz pauvre coûte 12,5 % moins cher qu'à vapeur. Si l'intérêt du capital était de 6 %, taux courant pour l'industrie, la différence ne serait que de 10 %.

Exemple de comparaison du prix de revient de l'énergie électrique fournie par une station centrale et par une installation privée à vapeur pour une puissance de 225 kw. pour le pays de Charleroi, d'après M. E. François.

L'énergie électrique étant offerte sous forme de courant triphasé, à haute tension, il fallait la transformer en courant triphasé à basse tension, par une sous-station à établir aux frais de l'abonné.

Dépenses de premier établissement d'une sous-station

Un transformateur de 225/270 kw. effectifs, soit pour cos φ = 0,85 une puissance apparente de 225 : 0,85 = ...	265 K. V. A.
Avec les appareils à haute tension	7.500 fr.
Un tableau de distribution	3.600 »
Cabine de protection en bois pour les appareils à haute tension	500 »
Capital engagé	11.600 fr.

Prix de revient d'exploitation

Consommation annuelle de courant à basse tension....		565.000 kw-h.
Prix d'achat du kw-h. à haute tension	fr.	0.06
Rendement moyen du transformateur (en tenant compte des périodes de faible charge).....................	»	0,9
Coût de l'énergie à basse tension : (565 000 kw-h. × fr. 0,6) : 0,9 = ...	»	37.750
Entretien	»	230
Annuité comprenant l'intérêt à 6 % du capital et l'amortissement en 15 ans, soit 10,3 % : 11.600 fr. × 0,103 =	»	1.200
Dépenses annuelles	fr.	39.180
Prix de revient du kilowatt heure à basse tension : 39.180 fr. : 565.000 kw-h. = ...	fr.	0,0693

Cas d'une station centrale privée à vapeur

Dépenses de premier établissement

Une machine à vapeur horizontale compound tandem, capable de développer normalement 350 HP-I à 125 tours et 9 kg. de pression, y compris montage et accessoires	fr.	30.000
Trois chaudières à foyer intérieur de 80 m²	»	20.000
Une dynamo à courant continu de 225 kw. à 230 volts pour accouplement direct	»	15.000
Tuyauteries diverses à vapeur et à eau	»	5.000
Un tableau de distribution	»	3.000
Un pont-roulant à main............................	»	4.000
Fondation et bâtiment.............................	»	16.000
Capital engagé	fr.	93.000

Dépenses de combustible

Consommation industrielle de vapeur par HP-I-heure...	6 kg.
Vaporisation industrielle par kg. de charbon brut	8 »
Rendement machine à vapeur	0,92
» dynamo	0,94
Consommation de charbon par kilowatt-heure : (6 kg. : 8 kg.)(1.000 W. : 736 W. × (1 : [0.92 × 0,94)] =	1 kg. 180
Energie dépensée annuellement	565.000 kw-h.
Consommation nette annuelle de charbon : 1 kg. 180 × 565.000 kw-h. =..........................	665.000 kg.
Perte par refroidissement des chaudières, pendant 13 h. de repos par jour et 65 dimanches et fêtes par an, soit (13 h. × 300 j.) + (24 h. × 65 j.) = ...	5.460 heures
Charbon nécessaire par mètre carré de surface de chauffe et par heure pour réparer ces pertes................	0 kg. 100
Soit au total par an : 0 kg. 100 × 5.460 h. × 160 m²...	8.750 kg.
Consommation totale annuelle de charbon : 662.000 kg. + 8.750 kg. =..........................	673.750 kg.
Prix du charbon à pied d'œuvre........................	16 fr.
Dépense annuelle de combustible : 16 fr. × 673 t. 75 =.	10.750 »

Prix de revient d'exploitation

Annuité comprenant l'intérêt du capital à 6 % et l'amortissement en 15 ans, soit 10,3 % : 93.000 fr. × 0,103 =	fr.	9.560
Combustible..	»	10.750
Huile de graissage : 5 fr. par jour	»	1 500
Coton et divers : 1 » »	»	300
Un machiniste à : 5 » »	»	1.500
Un chauffeur à : 5 » »	»	1 500
Entretien et réparations courantes....................	»	1 000
Dépenses annuelles	fr.	26.110
Prix de revient du kilowatt-heure :		
26.110 fr. : 365.000 kw-h. =........................	»	0,0462

soit 0,0462 : 0,0693 = 0,667 du prix de l'énergie électrique offerte par la station centrale.

Il y aurait lieu d'ajouter à ce chiffre un petit supplément pour la prime d'assurance et l'immobilisation d'une certaine étendue de terrain.

L'amortissement est compté en 15 ans, parce que le projet de contrat de la station d'électricité avait une durée de 15 ans ; mais il est évident qu'une installation à vapeur ne fonctionnant que 10 à 11 heures par jour pourrait s'amortir en 25 ans, ce qui ramènerait le coût du kw-h. à fr. 0,042 ».

Nous devons faire remarquer maintenant que les comparaisons faites par M. François ne portent que sur des machines à vapeur modernes présentant tous les derniers perfectionnements et ayant des consommations très réduites. Malheureusement, tous les industriels ne possèdent pas des machines à vapeur aussi parfaites et la plupart des usines françaises sont actuellement desservies par d'anciennes machines fixes avec chaudières à bouilleurs ou à flamme directe, ou même verticales ; toutes ces chaudières sont de terribles mangeuses de charbon et l'on considère souvent comme économiques celles dont la consommation n'excède pas 2 kilog. de charbon par cheval-heure.

Il n'est pas difficile de prouver aux industriels qui possèdent de telles machines à vapeur qu'ils auraient le plus grand intérêt à les remplacer *immédiatement* par des moteurs à gaz pauvre.

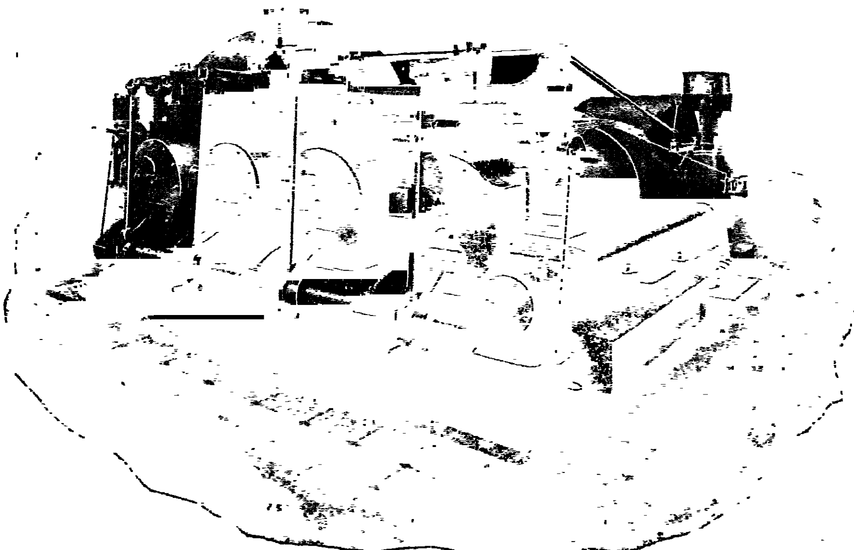


Fig 41. — Moteur à 4 cylindres « Premier » de 500 chevaux.
Vue des organes distributeurs et des magnétos d'allumage.



Fig. 42. — Moteur à gaz pauvre à 4 cylindres de 500 chevaux.

Si nous supposons une force motrice de 50 chevaux nécessitant avec une chaudière à bouilleurs 150 kilog. de charbon par heure, nous remplacerons cette consommation par 30 kilog. de charbon transformé en gaz pauvre, soit une économie de 120 kilog. par heure, 1.200 kilog. par jour, 360.000 kilog. par an, à 25 francs la tonne, soit 360 × 25 = 9.000 francs économisés par an.

Il faut ajouter à ce chiffre 2.000 francs d'économies sur le personnel, chauffeur ou mécanicien, et sur l'assurance contre l'explosion des chaudières, soit 11.000 francs par an : or un moteur à gaz pauvre de 50 chevaux coûte avec son gazogène environ 18.000 francs. *En moins de deux ans*, le moteur et le gazogène seront largement payés et l'industriel réalisera ensuite une économie de 11.000 francs par an, cela en vaut la peine.

Il faut donc mettre de côté et vendre à n'importe quel prix, même pour la ferraille, toutes ces anciennes machines à vapeur et les remplacer par des moteurs à gaz pauvre. Certaines firmes de moteurs à gaz pauvre offrent du reste de grandes facilités à cet égard aux industriels soucieux de leurs intérêts : moyennant un faible à-compte sur le prix du moteur et du gazogène, ces sociétés font l'installation et encaissent mensuellement ou trimestriellement des à-compte correspondant à peu près aux économies de charbon réalisées par le moteur à gaz pauvre sur l'ancienne machine à vapeur. L'industriel possède ainsi au bout de 18 mois ou 2 ans un moteur économique ne lui ayant réellement rien coûté et il est tout à fait incompréhensible que des usiniers intelligents s'obstinent à conserver de vieilles machines qui non seulement leur coûtent fort cher de combustible et d'entretien, mais sont en outre une cause de danger d'explosion permanent.

Il ne faut pas compter non plus sur l'abaissement du prix de l'électricité, car le charbon ne diminuera jamais de prix et, d'autre part, les installations de force motrice naturelle nécessitent des frais si considérables de premier établissement qu'elles sont toujours grevées de lourdes charges en intérêts à payer à leurs actionnaires, de sorte qu'elles n'arrivent pas à vendre le kilowatt beaucoup moins cher qu'une *centrale* bien installée avec des machines modernes. En tous cas elles n'arriveront jamais à

vendre le kilowatt moins de 2 centimes, prix auquel l'électricité pourrait concurrencer d'une façon intéressante le gaz pauvre.

D'autre part, voici d'après M. Pierson comment se compare le coût du cheval-heure produit avec une machine à vapeur, un moteur à gaz d'éclairage, l'énergie électrique et le moteur à gaz pauvre, pour une puissance de 30 chevaux :

Machine à vapeur (charbon à 30 fr. la tonne)	fr.	0,06
Moteur à gaz d'eclairage (gaz à 20 centimes)	»	0,10
Energie électrique (courant à 30 centimes le kilowatt)	»	0,27
Moteur à gaz pauvre (charbon à 30 fr. la tonne)	»	0,015

Ces chiffres sont assez éloquents pour se passer de commentaires.

ESSAI D'UN MOTEUR DUPLEX DE 200 HP, AVEC GAZOGÈNE RICHÉ (ATELIERS NORD BELGE-CHARLEROI)

Caractéristique du moteur

Moteur « Duplex »	Bicylindrique
Alésage	460
Course	770
Nombre de tours	180
Gazogène	Riché
Combustible	Anthraciteux belge
Allumage	Par magnéto

Renseignements complémentaires

Marche à vide, vitesse par minute	184
Nombre d'explosions correspondantes	92
Charge, vitesse par minute	180
Nombre d'explosions correspondantes	90
Travail indiqué au diagramme	183 chevaux
Travail effectif	150
Composition du mélange	1 pour 1
Compression moyenne	9 kilogrammes
Explosion moyenne	18 »
Moyenne des pressions finales de détente	2 »
Température entrée d'eau	15°
Température moyenne de sortie d'eau	37°
Consommation moyenne par cheval-heure indiqué résultant d'une marche journalière de 2 mois, le moteur étant en 3/4 de charge	462 grammes
Garantie faite en pleine charge	480 »
Coefficient d'irrégularité pour un passage brusque de pleine charge à vide	$\frac{184 - 180}{182} = 2,2\ \%$

Tableau indiquant l'économie considérable réalisée par le moteur à gaz pauvre comparativement à la machine à vapeur et aux moteurs à gaz d'éclairage et à pétrole

Force en chevaux	Consommations de combustibles par cheval-heure, pleine charge					Dépenses annuelles à raison de 10 heures de travail par jour pendant 300 jours de travail					Économie annuelle réalisée sur		
	Moteurs à vapeur		Moteurs à gaz	Moteurs à pétrole	Moteurs à gaz pauvre	Moteurs à vapeur		Moteurs à gaz	Moteurs à pétrole	Moteurs à gaz pauvre	La vapeur	Le gaz	Le pétrole
	à échappement libre	fonctionnant avec condenseur				à échappement libre	fonctionnant avec condenseur						
	kilog.	kilog.	litres	kilog.	kilog.	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
20	3.000	1.800	500	0,450	0,500	4.050	2 430	4 860	8 505	675	3.375	4 185	7 830
25	2.800	1.750	500	0,420	0,500	4.620	2.888	6.000	9.702	825	3.795	5.775	8 877
30	2.500	1.700	500	9,405	0,480	5.250	3.570	8 400	11 907	1.050	4.200	7.350	10 857
40	2.200	1.300	475	0,345	0,460	7 425	4.387	12.825	16 301	1 603	5 822	11.222	14 698
55	2.000	1.250	450	0,315	0,450	8.250	5.156	14.850	18.191	1.856	6 394	12.994	16.335
65	2.000	1.200	450	—	0,450	9.750	5.850	17.550	—	2 193	7 557	15.357	—
75	1.800	1.150	400	—	0,440	10.125	6.469	18.000	—	2.250	7.875	15.750	—
90	1.600	1.100	400	—	0,100	10 800	7.425	21.600	—	2.700	8 100	18 900	—
110	1.400	1.000	375	—	0,375	11.550	8.250	24.750	—	3.093	8 457	21.657	—
150	1.200	0 900	375	—	0,360	13.500	10 125	33 750	—	4.300	9.200	29.450	—

(Communiqué par la *Société des Moteurs Taylor-Perfecta*).

En supposant du charbon à 28 fr. la tonne rendue au gazogène, la consommation de charbon est de 1 centime 293, par cheval-heure.

CONSOMMATION POUR LA FORCE MOTRICE

(d'après la Compagnie du gaz H. Riché)

Combustibles divers employés

	Dépenses par cheval et par heure
Anthracite	400 à 425 gr.
Charbons maigres : Aniche, Anzin, Bessèges, Charbons maigres belges, Cardiff, Fines-les-Raches, La Grand-Combe, La Mure, Messeix, Montceau-les-Mines, Nord d'Alais, Niegles-Prades, Ostricourt, Thivencelles, Vicoigne et Nœux, etc.	425 à 475 »
Charbons 1/2 gras 10/30 lavés d'Aniche	475 »
Coke de gaz	600 »
Grésillon de coke	650 »
Lignites de Longemaison (Doubs), des Bouches-du-Rhône, de Utrillas, de Berga et de Mallorca (Espagne)	750 à 900 »
Tourbes	1.000 à 1.050 »
Sciures, copeaux, déchets de bois, de toutes essences.	1.500 à 1.700 »
Tannée essorée	2.000 à 2.200 »
Grignons d'olives, écorces d'arachides	1.400 à 1.500 »
Paille hachée, foin, feuilles	1.000 à 1.600 »

Prix de revient de la force motrice

1° *Avec moteur électrique.*

L'unité horaire de travail électrique est très sensiblement équivalente à 1 cheval 1/3. En d'autres termes, un cheval-effectif développé en une heure est équivalent à 736 watts-heure.

Dans le cas du courant pris sur le secteur, cependant, ce courant est invariablement mesuré au compteur avant son passage dans le moteur et, en tenant compte de la résistance intérieure de ce dernier (rendement), une partie du courant consommé est absorbée par le moteur lui-même.

Le rendement d'un bon moteur électrique de puissance moyenne est d'environ 85 %, de sorte que chaque cheval-heure effectif développé à la poulie du moteur et par conséquent disponible pour le travail effectif équivaut à 865 watts.

Dans l'exemple pris en considération, une puissance de 40 chevaux-heure correspond à une consommation au compteur de 34.600 watts-heure.

En admettant un travail de 60 heures par semaine et 52 semaines par an (3.120 heures par an) la consommation en courant sera de :

$$34.600 \times 3.120 = 107.952.000 \text{ watts-heure ;}$$

à 0 fr. 20 le kilowatt, la dépense annuelle sera de 21.590 fr. 40. Si l'on ajoute à cela l'amortissement évalué à 500 francs par an, le total sera par an, de 22.090 fr. 40.

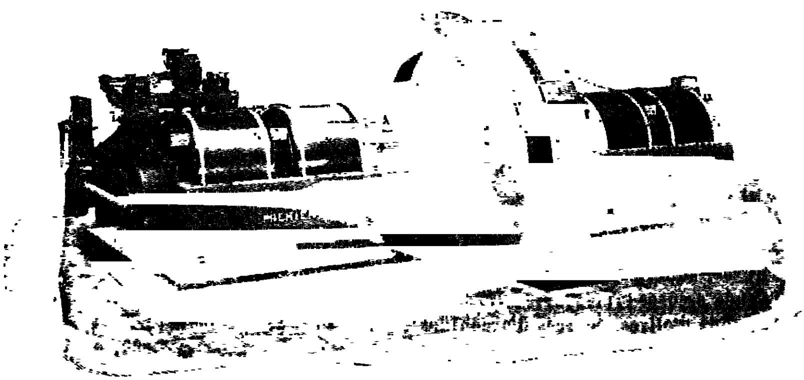


Fig. 43. — Alternateur accouplé sur l'arbre d'un moteur à quatre cylindres au gaz pauvre (500 chevaux).

2° *Avec moteur à gaz pauvre.*

Nous admettons ici un prix moyen d'anthracite de 45 francs la tonne et une consommation plutôt élevée de 450 grammes par cheval-heure. La consommation annuelle en combustible sera :

$$40 \times 450 \times 3.120 = 56 \text{ tonnes.}$$

La consommation totale d'huile par semaine : 9 litres.

La consommation d'huile par an sera : 9 × 52 = 468 litres.

La consommation d'eau, 15.000 litres par semaine, soit 780 mètres cubes par an.

Le prix total de l'installation du moteur et du gazogène prêts à fonctionner sera de 13.000 francs. Ajoutez à cela le prix des

fouilles, fondations, 1.000 francs, et le total du capital engagé sera de 14.000 francs. Les charges annuelles pourront donc être évaluées comme suit :

Intérêt et dépréciation 10 % sur 14.000 francs	1.400 fr.
Réparations et entretien sur 10 ans	150 »
Combustible, 56 tonnes à 45 francs	2.520 »
468 litres d'huile	468 »
Eau 780 mètres cubes 0 fr. 20	156 »
Surveillance, 1 homme, 40 francs par semaine	2.100 »
Total	6.794 fr.

3° *Avec machine à vapeur.*

Nous avons pris comme exemple une machine marchant à échappement libre, ce qui est généralement le cas pour cette puissance et surtout dans les grandes villes où, étant donné le prix de l'eau qui serait nécessaire pour la condensation (le condenseur à mélange d'une machine à 40 chevaux demanderait 12 mètres cubes à l'heure), l'économie de combustible qui résulterait de l'emploi de la condensation serait largement dépassée par la dépense supplémentaire d'eau pour la condensation.

Les réfrigérants ne peuvent pas toujours être employés faute de place et aussi à cause de leurs inconvénients. Le prix de première installation avec ces réfrigérants est de plus très élevé.

Intérêt et dépréciation 10 % sur 17.000 francs	1.700 fr.
Réparation et entretien sur 10 ans	500 »
Combustible (2 kilos 2 par cheval-heure)	6 900 »
Huile	468 »
Eau	375 »
Conduite	2.600 »
Total	12 543 fr.

Si l'on a à sa disposition l'eau pour la condensation (rivière, étang, etc.), il est encore facile de chiffrer l'économie. La dépense en combustible est alors de 5.660 francs au lieu de 6.900 francs.

En prenant donc en considération toutes les charges, le moteur à gaz de 40 chevaux travaillant à pleine charge procure une économie de 15.000 francs par an sur un moteur électrique ; de

5.749 francs par an sur une machine à vapeur à échappement libre ; de 4.449 francs par an sur une machine à vapeur à condensation.

N. B. — Il est bon de remarquer que dans les dépenses avec moteur à gaz, nous avons compté un homme qui, en fait, peut facilement être employé à d'autres travaux dans l'usine. L'eau de refroidissement également évaluée ne se compte pas toujours lorsqu'elle est prise, comme nous l'avons dit plus haut, dans un canal ou une rivière.

CHAPITRE II

TRANSPORT DE FORCE PAR LE GAZ PAUVRE

Au moyen d'un seul gazogène, il est très facile d'alimenter plusieurs moteurs placés à de grandes distances les uns des autres, et la supériorité de ce mode de transport à distance de la force motrice réside dans ce fait qu'il n'y a aucune déperdition de cette force quelle que soit la distance qui sépare les moteurs du gazogène.

L'installation comprend en ce cas soit un gazogène soufflé avec gazomètre, soit un gazomètre en aspiration dans lequel les moteurs aspirent directement si la distance n'est pas trop grande, soit enfin un gazogène en aspiration avec ventilateur qui donne au gaz une pression de quelques millimètres d'eau pour permettre son accumulation dans un gazomètre ou faciliter sa circulation dans les tuyauteries.

Ces tuyauteries sont identiques à celles pour le gaz de ville, (tuyaux en fonte à emboîtement ou à joints de caoutchouc) ; la présence d'un gazomètre régularise le débit du gaz et elle est nécessaire quand il s'agit de grandes distances et de moteurs multiples travaillant sur un même gazogène.

Les canalisations étant supposées parfaitement étanches (ce dont on doit s'assurer fréquemment par des examens manométriques) la transmission de force s'effectue ainsi intégralement : dans le cas d'une transmission électrique, on ne doit pas compter moins de 30 % de perte de rendement pour la génératrice, la ligne et les moteurs ; le gaz pauvre présente donc à cet égard un réel avantage.

CHAPITRE III

INSTALLATION D'UNE FORCE MOTRICE AU GAZ PAUVRE

Aucune autorisation administrative n'est nécessaire pour l'installation d'une force motrice au gaz pauvre, lorsqu'elle ne comporte pas de gazomètre ; les voisins ne peuvent non plus s'y opposer ni élever des réclamations, à condition toutefois que les appareils soient installés de façon à ne produire ni bruits, ni trépidations, ni odeurs incommodes.

Pour cela il suffira de faire au moteur des fondations assez profondes et reposant sur un sol très compact, de le munir de double ou triple pot d'échappement et de faire monter assez haut les tuyaux d'échappement et celui de la cheminée du gazogène.

Quand une installation est d'une grande importance, qu'elle doit assurer un service public, éclairage, traction ou autre, il est bon d'avoir plusieurs gazogènes et plusieurs moteurs susceptibles d'être couplés ensemble indifféremment au moyen de tuyauteries et de vannes d'arrêt appropriées ; on peut ainsi parer aux nécessités des réparations aux appareils.

Le gazogène et le moteur doivent être placés l'un près de l'autre, afin que le mécanicien puisse surveiller les deux appareils avec le minimum de travail et le plus de facilité.

Le gazogène est bien sous un hangar ou un appentis en plein air, il ne craint pas la gelée et il est là parfaitement ventilé ; si l'on installe le gazogène dans un bâtiment clos, il faut que ce local soit très bien aéré, que le mécanicien puisse tourner facilement tout autour du gazogène et qu'il ait en avant des portes un espace

suffisant pour procéder aux décrassages et nettoyages de la grille.

Il faut prévoir un moyen facile de monter le combustible dans la trémie de chargement avec un escalier ou plate-forme convenablement disposés ; dans les grands gazogènes on construit un plancher à la hauteur des trémies de chargement et c'est sur ce plancher qu'on dépose les réserves de charbon.

Le gazogène ne nécessite pas de fondations spéciales, il doit reposer sur un sol dur et assez résistant pour que les jonctions des divers tuyaux ne subissent pas d'efforts anormaux. Une fondation sur plate-forme en béton de ciment ou en briques sur champ est tout ce qu'il faut, en y réservant les écoulements d'eau nécessaires, selon les plans que remet le constructeur de l'appareil.

Pour les montages du gazogène, chaque constructeur fournit des instructions détaillées ; nous donnons ci-dessous quelques indications générales :

Les différentes parties du gazogène étant disposées pour le mieux, accoupler les pièces en commençant par le générateur. Pour revêtir de briques réfractaires l'intérieur du générateur, il est quelquefois nécessaire de démonter le vaporisateur. Assembler grossièrement sur le sol ces briques, pour s'assurer qu'elles formeront le revêtement voulu. Les monter ensuite dans le générateur après y avoir placé le plateau qui doit les supporter, et les avoir trempées chacune dans un seau d'eau. Le plateau a été au préalable enduit d'une sorte de mortier (mélange de terre glaise et d'eau) ou coulis réfractaire, qui formera un excellent joint avec la première rangée de briques. Tous les joints entre chaque rang de briques devront être faits de même ; ils devront être aussi minces que possible, et, dans tous les cas, ne pas dépasser 4 à 5 millimètres d'épaisseur ; autrement le briquetage, serait trop élevé. Le diamètre intérieur du briquetage, comme il a été dit précédemment, devra être le même que celui de la grille.

Pour éviter les entrées d'air, il y a lieu, quand le revêtement est terminé et bien en place, de combler avec du coulis l'espace

entre les briques et la paroi du générateur; on peut aussi employer du sable sec, des cendres fines ou encore du coton minéral; mais, en ce cas, avoir soin de couvrir ces derniers matériaux d'une couche de coulis, au niveau du dernier rang de briques ; l'aspiration du moteur pourrait, dans le cas contraire, attirer des grains de sable dans le cylindre.

Ce travail est un des plus importants dans le montage.

Dès qu'il est terminé, remonter le vaporisateur sur le générateur, après avoir eu soin de faire un joint bien hermétique avec du carton d'amiante graissé, du minium ou du mastic Serbat. La trémie de chargement peut être alors montée sur le vaporisateur et le robinet-regard mis en place. On montera ensuite les portes, le ventilateur et le tuyau d'amenée d'air et de vapeur à la grille.

Le générateur est alors prêt à travailler.

Les autres parties du gazogène sont simplement reliées les unes aux autres, par l'intermédiaire de tubes en fer avec joints bien hermétiques.

Dès que la cheminée est placée, faire un petit feu dans le générateur, fermer les portes et faire entrer de l'air sous la grille par le ventilateur, de façon à sécher lentement le briquetage. Sans cette précaution, le briquetage pourrait se fendre à la première mise de feu au gazogène. Pour obtenir un tirage d'air suffisant, la cheminée devra avoir au moins $3^m,50$ de long.

Nous avons toujours recommandé de mettre le moteur dans une cage vitrée facilement accessible et aérée ; de cette façon le mécanisme du moteur est préservé des poussières du gazogène et de l'usine, et sa durée est de ce fait considérablement prolongée, en même temps que l'on économise beaucoup de temps de nettoyage, de sorte que la dépense faite pour enfermer le moteur est rapidement récupérée. Cette précaution est encore plus nécessaire pour un moteur à gaz pauvre que pour tout autre, parce que, lorsqu'on décrasse le feu du gazogène, il se produit forcément des nuages de cendres qui retombent en partie sur le moteur placé à côté.

Naturellement, les fondations du moteur doivent être spéciale-

lement solides à cause des trépidations et du poids de la machine.

Les tuyaux amenant le gaz au moteur et évacuant les gaz d'échappement sont généralement placés dans des *caniveaux* en maçonnerie ou creusés dans le béton de la salle des machines et recouverts de tôles striées ; les pots d'échappement doivent être aussi rapprochés que possible du moteur, afin d'offrir une détente immédiate aux gaz brûlés dans le cylindre ; les tuyaux d'évacuation de ces gaz au dehors doivent dépasser de plusieurs mètres les toitures des habitations.

Une très importante question dans l'installation d'une force motrice au gaz pauvre est l'alimentation d'eau.

Il faut de l'eau pour le vaporisateur et pour le laveur du gazogène ; il en faut aussi pour le refroidissement du moteur. Le tableau que nous donnons ci-après indique les quantités d'eau nécessaires selon la puissance du moteur ; on voit qu'elles sont assez importantes pour que l'approvisionnement d'eau mérite d'être examiné au point de vue de la dépense.

Jusqu'à une puissance de 65 chevaux environ, le refroidissement du moteur peut se faire par thermo-siphon en ayant soin d'employer un réservoir d'assez grande capacité (au moins 250 litres par cheval-heure, si le moteur doit tourner 12 heures par jour sans arrêt) et en disposant convenablement les tuyauteries avec d'assez gros diamètres des tuyaux ; mais au-dessus de 60 à 65 chevaux le refroidissement par thermo-siphon devient impossible, et même cette limite de puissance doit être considérablement abaissée si l'on se trouve dans les pays chauds. Il faut alors activer la circulation de l'eau du thermo-siphon au moyen d'une pompe et faire passer l'eau chaude ainsi pompée dans un radiateur à grande surface réfrigérante.

Mais il faut nécessairement alimenter le laveur ou scrubber à coke avec de l'eau froide et propre. Si l'on doit payer, à la Ville où l'on est établi, cette eau froide, on a presque toujours avantage à creuser un puits et à y puiser l'eau nécessaire au moyen d'une pompe actionnée par une transmission quelconque.

Renseignements généraux sur les moteurs à gaz pauvre

Puissances en chevaux au frein de Prony	Consommation de charbon maigre de bonne qualité par cheval-heure	Nombre de tours par minute	Poids approximatif du moteur et du gazogène		Volants				Quantité approximative d'eau nécessaire		
			Type industriel	Type électrique	Industriels		Électriques		Au gazogène pour le lavage du gaz et la production de la vapeur pleine charge	Par réservoir thermo-siphon — Capacité du réservoir	Par eau courante Consommation totale en litres par heure
					Diamètre	Largeur	Diamètre	Largeur			
	grammes		kilog.	kilog.					Par heure mètres cubes	mètres cubes	litres
10	560	230	3.550	4.000	1.700	130	2.000	150	0 120	2.500	250
15	520	225	4.300	4.700	1 800	130	2.000	160	0.160	3.500	360
20	500	220	5.000	5.600	2.000	140	2.100	180	0.220	4.500	500
22	490	220	5.600	6.300	2.000	150	2.200	200	0.250	5 000	550
28	480	215	6.300	7.300	2.200	190	2.400	230	0.310	5.500	650
35	450	210	8.300	9 300	2.300	200	2.500	240	0.380	7 000	800
40	430	210	8.700	9 900	2 400	210	2.500	240	0 420	7.500	900
45	420	210	9.400	10.500	2.500	220	2.600	260	0.480	8.000	1.000
55	410	200	11.000	12.500	2.600	220	2.700	280	0.570	10.000	1.200
65	400	200	12.000	14 000	2.700	230	2.800	300	0.680	A partir de la puissance de 65 chevaux, il est préférable d'adopter le refroidissement par eau courante ou par réservoir, pompe de circulation et réfrigérant.	1.400
80	390	195	14.500	17.000	2.800	230	2.900	320	0.780		1.700
90	380	195	16.000	19.000	2 900	240	3.000	340	0.850		1.900
100	380	190	17 500	21.000	3.000	260	3 200	380	0.920		2.000
110	370	185	19.500	23.500	3 200	320	3.300	400	1.000		2.300
135	360	180	23.500	29.000	3.400	340	3.500	420	1.300		2.800
160	350	170	28.500	34.500	3.600	360	3 800	460	1.500		3.000

(Communiqué par la *Société des Moteurs Taylor-Perfecta*).

Nous rappellerons ici que toutes les fois que l'on se trouve dans un terrain d'alluvion peu éloigné d'un cours d'eau, on peut trouver l'eau facilement et à peu de frais en forant un puits *tubé* ou un puits *instantané* qui s'obtient en enfonçant au marteau un tube en fer dans le sol (ce tube est muni à sa base d'une pointe en acier percée de trous et formant crépine).

L'eau pompée sans interruption par la pompe est accumulée dans un réservoir d'où on l'envoie aux différents points utiles.

Une pompe absorbant entre un demi et un cheval fournit de 1.500 à 3.000 litres à l'heure.

CHAPITRE IV

—

LES MOTEURS A GAZ PAUVRE

Les moteurs à gaz pauvre sont tous des moteurs fonctionnant à *quatre temps* : il faut constater l'abandon absolu des moteurs à deux temps pour lesquels certaines maisons allemandes ont fait jadis de persévérants efforts.

Mais on a fini par reconnaître que les *lumières* ou orifices d'admisssion des gaz dans les moteurs à deux temps s'usaient plus vite que les soupapes des moteurs à quatre temps: d'un autre côté et tout compte fait, le mécanisme des deux temps était au moins aussi compliqué et aussi coûteux que celui d'un bon moteur à quatre temps.

Nous ne parlerons donc ici que de ces derniers moteurs en rappelant brièvement leur mode de fonctionnement et en indiquant les particularités qu'ils doivent avoir pour l'emploi du gaz pauvre.

Le moteur à quatre temps doit son nom à ce qu'il faut quatre courses du piston dans le cylindre pour produire une période motrice.

Le principe du moteur à gaz pauvre repose sur la combustion (instantanée ou tout au moins fort rapide) d'un mélange de gaz pauvre et d'air.

La proportion d'air doit être assez faible pour qu'au lieu de brûler simplement (ce qui arriverait dans un excès d'air, comme c'est le cas pour un bec de gaz), on obtienne une combustion instantanée, c'est-à-dire une explosion.

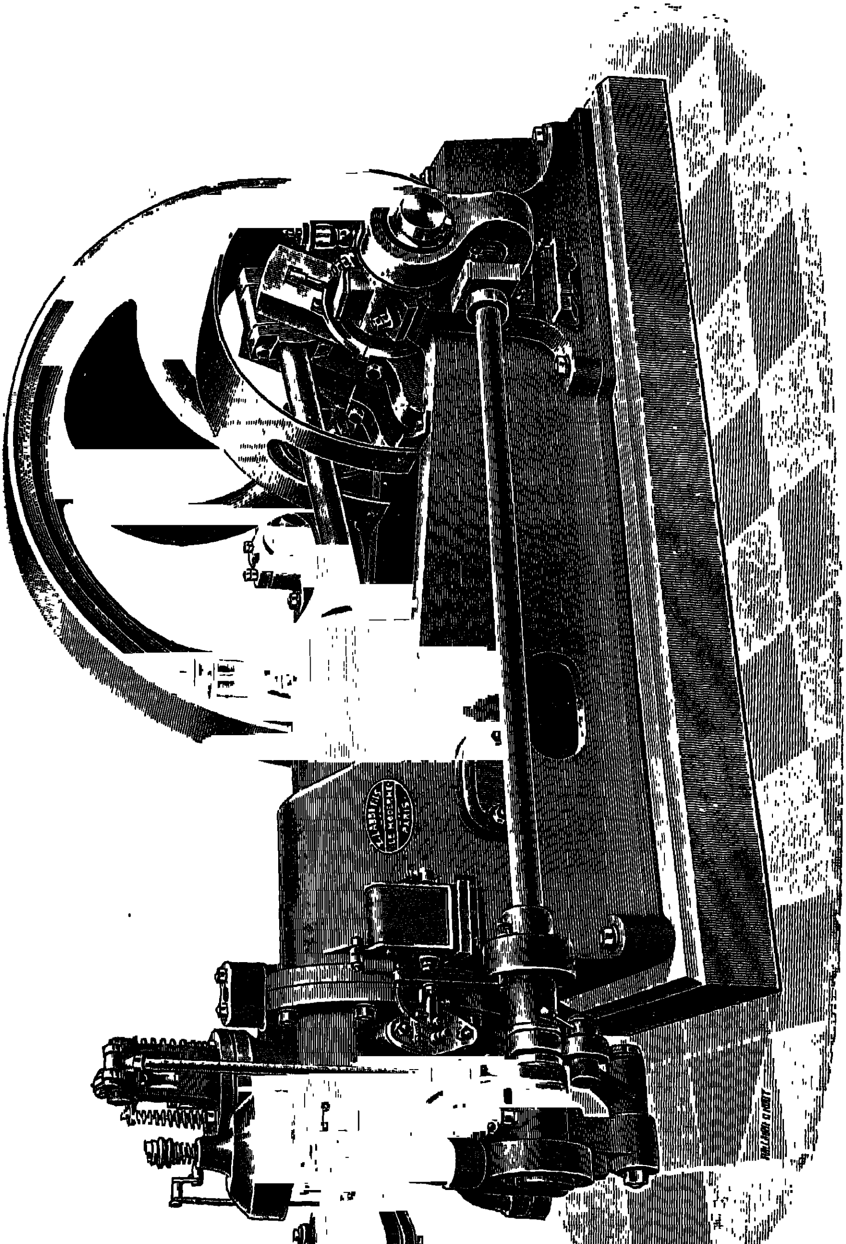


Fig. 44. — Moteur à gaz pauvre de 10 à 60 chevaux.
Allumage par magnéto, régulateur à admission variable, graissage à bagues et par compte-gouttes.

Cette quantité d'air varie entre six et sept fois le volume du gaz, pour le gaz de ville, et environ un volume égal pour le gaz pauvre.

Fonctionnement. — Le moteur se compose d'un cylindre dans lequel se meut un piston, relié par une bielle à la manivelle d'un arbre sur lequel est claveté un volant.

Si nous introduisons dans ce cylindre le mélange de gaz et d'air, et que nous y mettions le feu, l'explosion se produit, poussant en avant le piston qui fait tourner l'arbre.

Le volant, par son inertie, entretient la rotation ainsi commencée.

Pour faciliter la combustion de ce mélange de gaz pauvre et d'air et augmenter la puissance de son explosion, il est nécessaire de le comprimer fortement.

La combustion est ainsi plus parfaite et la consommation plus réduite.

Voici comment fonctionne le moteur (fig. 45 à 48) : le piston, entraîné par le volant, aspire le mélange de gaz et d'air par une soupape qu'ouvre un levier actionné par une came. Au fond de course basse, cette soupape se ferme, et le piston, en revenant sur lui-même comprime ce mélange dans le fond du cylindre.

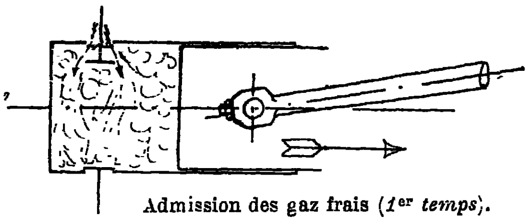
A fond de course haute, le gaz comprimé est enflammé au moyen de l'étincelle électrique produite par une magnéto, ou par un brûleur. L'explosion pousse le piston en avant. Quand il est à fond de course basse, la soupape de décharge s'ouvre et les produits de la combustion s'échappent, poussés par le piston qui revient vers le fond du cylindre. — Les soupapes sont commandées par un arbre à cames tournant à demi-vitesse du moteur.

On voit que l'impulsion donnée à l'arbre du moteur ne se produit qu'une fois sur deux tours ou sur quatre mouvements alternatifs du piston.

Refroidissement. — La haute température à laquelle se produit la combustion dans le cylindre empêcherait tout graissage et

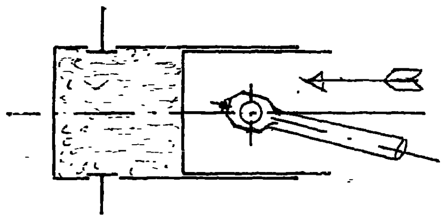
Les quatre temps du moteur
(fig. 45 à 48)

1er tour de l'arbre manivelle.



Admission des gaz frais (*1er temps*).

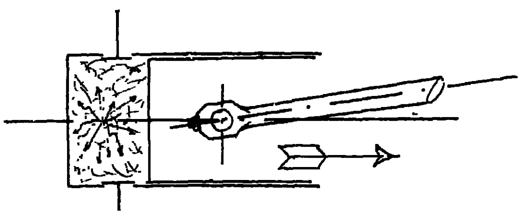
Le piston s'éloigne du fond de culasse, aspirant dans le cylindre, par la soupape d'admission, un mélange de gaz et d'air constituant la charge tonnante. Pendant ce temps, la soupape d'échappement reste fermée.



Compression (*2e temps*).

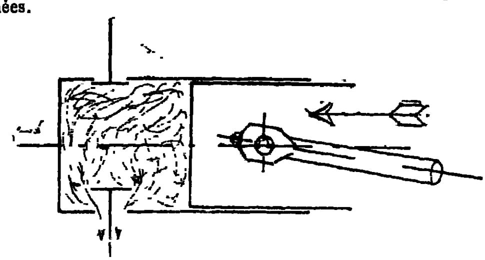
Le piston s'approche de la culasse en comprimant la charge tonnante. Pendant ce temps. la soupape d'admission, ainsi que la soupape d'échappement sont toutes deux fermées.

2e tour de l'arbre manivelle.



Explosion et production de la force motrice (*3e temps*).

Production à l'intérieur du cylindre d'une étincelle électrique et allumage de la charge tonnante comprimée, d'où une explosion et une expansion qui repousse le piston. Pendant ce temps, les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes deux fermées.



Echappement des gaz brûlés (*4e temps*)

Le piston, poussé par la bielle, revient vers la culasse en expulsant, par la soupape d'échappement, les gaz produits par la combustion. Pendant ce temps, la soupape d'admission est fermée.

amènerait rapidement le grippage du piston, si l'on n'avait pas prévu des enveloppes dans lesquelles circule de l'eau destinée à maintenir les parois à une température convenable.

Les tuyaux d'entrée et de sortie d'eau devront, de préférence, avoir des poches de thermomètre, afin de permettre la détermination de la température de l'eau réfrigérante à ces endroits.

La température de l'eau réfrigérante, à la sortie, ne doit pas pas être inférieure à 40°, ni supérieure à 60° ; une température de 50° environ est la meilleure.

Si la température, à la sortie du cylindre, est de beaucoup supérieure à 60°, cela indique que le refroidissement du cylindre n'est pas assez efficace. La température de la paroi du cylindre reste trop élevée, si bien que l'huile devient trop fluide, de sorte qu'on risque de compromettre l'étanchéité du piston et d'avoir des fuites pendant les explosions et les compressions.

Si la température de l'eau, à la sortie, est bien inférieure à 40°, c'est que le refroidissement de la paroi du cylindre a été poussé rop loin, l'huile qui sert à graisser le cylindre, reste trop épaisse et ne se répartit pas assez facilement sur la totalité de la surface du piston. Une quantité appréciable de puissance est perdue, en surmontant les frottement inutilement élevés.

Une température de 50° est à préférer au point de vue étanchéité et frottement ; en même temps elle assure, au point de vue fonctionnement, le rendement le plus élevé et la plus grande marge de sécurité.

La quantité d'eau réfrigérante nécessaire à un bon refroidissement est plus grande avec un moteur de puissance moyenne qu'avec un petit moteur ; aussi, pour un moteur de moyenne puissance, un refroidissement à « thermo-siphon » exigerait des réservoirs très grands, étant donné que l'eau ne circule pas très vite dans ce système.

Pour cette raison, beaucoup de constructeurs de moteurs à gaz de moyenne puissance, au lieu d'employer des réservoirs encombrants, emploient des réservoirs relativement petits et augmentent leur pouvoir réfrigérant par une circulation rapide de l'eau. Cette

circulation rapide est généralement assurée par une pompe centrifuge.

La circulation par pompe est plus efficace que le système à thermo-siphon, mais ce dernier est moins compliqué et moins coûteux.

Quelquefois on emploie, comme eau réfrigérante, de l'eau de la ville amenée par un embranchement qui aboutit directement sur l'enveloppe du moteur. Dans ce cas, l'eau, après avoir servi une fois, n'est pas employée de nouveau. Il y a, dans ce cas, une grande dépense d'eau en pure perte, aussi les grandes usines font généralement creuser un puits ou installent des réfrigérants qui permettent de servir encore de l'eau.

L'eau réfrigérante doit être pure, car si elle est calcaire ou séléniteuse, il se forme des dépôts de *tartre* dans l'intérieur de l'enveloppe du cylindre ce qui rend défectueux le refroidissement de la paroi, de sorte que sa température en atteignant une valeur dangereuse peut, en carbonisant et en rendant incandescente l'huile qui se trouve à l'intérieur de la culasse, être la cause d'un allumage prématuré. De plus, l'huile sur le piston devient trop fluide et l'on risque de compromettre l'étanchéité et d'avoir des fuites de gaz. L'huile sur les segments se carbonise et perd sa valeur lubrifiante, ce qui amène comme résultat inévitable une usure excessive et une perte de puissance.

Il faut, de temps en temps, visiter l'intérieur de la chemise d'eau ; s'il y a des dépôts calcaires il faut lès enlever par grattage ou en y faisant séjourner de l'eau mélangée par moitié d'acide chlorhydrique qui dissout ces dépôts calcaires.

Refroidissement par thermo-siphon

Dans ce système, une circulation constante, mais peu accélérée, de l'eau réfrigérante, est maintenue par la différence de densité existant entre l'eau chaude et l'eau froide qui se trouvent dans les différentes parties du circuit, l'eau froide descend à l'endroit le plus bas, c'est-à-dire l'enveloppe du cylindre. L'eau de cette enveloppe, après avoir été chauffée par la chaleur provenant de l'ex-

plosion, monte dans un tuyau qui l'amène dans le haut d'un réservoir réfrigérant (fig. 48 *bis*).

Après avoir été refroidie dans ce réservoir, l'eau descend par un autre tuyau qui l'amène de nouveau dans l'enveloppe du cylindre.

Une condition nécessaire à la circulation de l'eau en thermosiphon est que le niveau *n* de l'eau dans le réservoir soit au-dessus de l'orifice du tuyau T d'eau chaude. Ce tuyau ne doit présenter

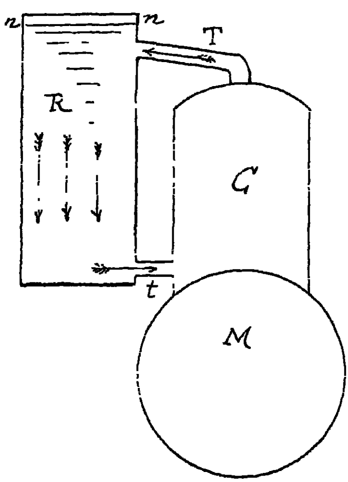


Fig. 48 *bis*.
C, Cylindre. — *t*, Eau froide. — T, Eau chaude.

aucune *contre-pente* ni coudes brusques qui gêneraient la circulation de l'eau. La capacité d'un réservoir d'eau de thermosiphon doit être d'au moins 200 litres par cheval de puissance du moteur.

Détails de construction. — Quoique la construction d'un moteur à gaz pauvre paraisse à première vue identique à celle d'un moteur à gaz de ville, il n'en est pas moins vrai qu'un moteur construit pour fonctionner au gaz de ville ne saurait donner de bons résultats avec le gaz pauvre : il est en effet nécessaire que la compression du mélange gazeux soit beaucoup plus considérable

avec le gaz pauvre qu'avec le gaz de ville ou l'essence de pétrole ; tandis que les moteurs qui emploient ces carburants ne compriment généralement que de 6 à 8 kilogrammes par centimètre carré, il faut que le moteur à gaz pauvre comprime entre 9 et 10 kilogrammes, car le mélange de gaz pauvre et d'air est moins inflammable que les précédents.

D'un autre côté, les proportions de gaz pauvre et d'air à admettre dans le cylindre sont d'environ 1 volume de gaz pauvre pour 1 à 1 1/2 volume d'air tandis qu'il faut 6 à 7 volumes d'air pour un volume de gaz de ville : les orifices d'admission doivent donc être spécialement faits pour le gaz pauvre.

Il résulte de ce que nous venons de dire qu'un moteur à gaz de ville ne peut pas fonctionner au gaz pauvre dans de bonnes conditions sans avoir subi une transformation relativement à sa compression et à ses soupapes.

Cette transformation n'est du reste pas toujours possible : elle nécessite le changement du piston, de la soupape d'admission du gaz et de son siège.

Les moteurs à gaz pauvre se font avec cylindre horizontal pour les forces motrices industrielles ou pour les centrales électriques et avec cylindres verticaux pour l'accouplement direct avec les dynamos, pour la marine ou pour les automobiles. Les gros moteurs horizontaux se font jusqu'à 200 et 300 chevaux par cylindre ; au-dessus de ces puissances on accouple plusieurs cylindres sur le même arbre manivelle en équilibrant pour le mieux les efforts moteurs des cylindres entre eux. Les constructeurs ont à peu près complètement renoncé aux moteurs avec cylindres à *double effet* ou en *tandem* ; on a reconnu que les difficultés que crée le passage des tiges de piston, à haute température, dans des *stuffing-box* au travers des fonds des cylindres, sont à peu près insurmontables et qu'il est préférable de n'employer que des cylindres à simple effet dont on augmente le nombre en vue de l'effort à obtenir.

L'un des plus graves inconvénients de l'emploi du gaz pauvre dans les moteurs provient de l'encrassement des soupapes, des pistons et des cylindres par les poussières ou les goudrons prove-

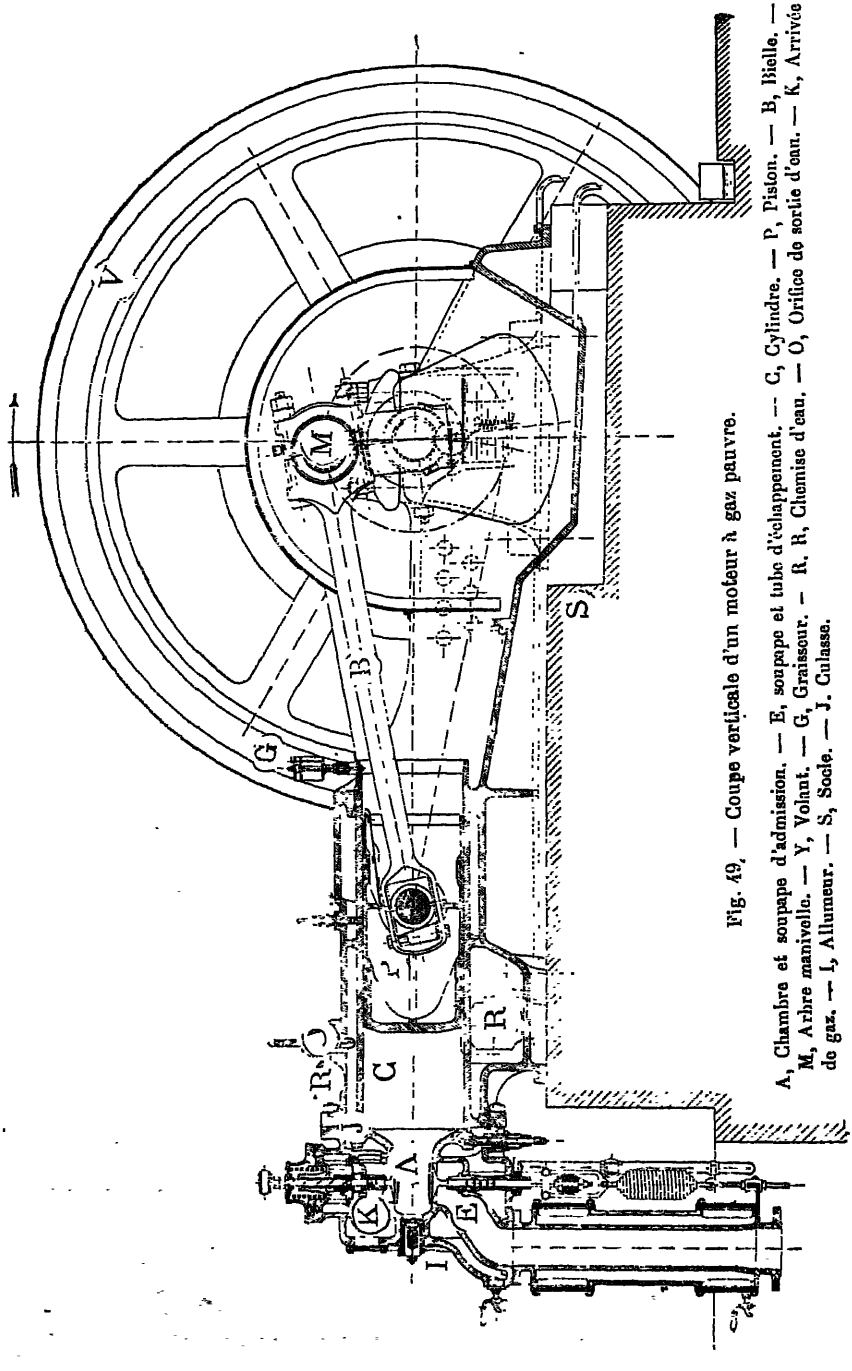


Fig. 49. — Coupe verticale d'un moteur à gaz pauvre.

A, Chambre et soupape d'admission. — E, soupape et tube d'échappement. — C, Cylindre. — P, Piston. — B, Bielle. — M, Arbre manivelle. — V, Volant. — G, Graisseur. — R, R, Chemise d'eau. — O, Orifice de sortie d'eau. — K, Arrivée de gaz. — I, Allumeur. — S, Socle. — J, Culasse.

Pièces constituant le moteur



Fig 50. — Bâti et cylindre.

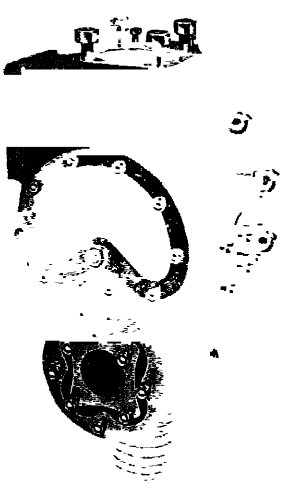


Fig. 51.
Boîte des soupapes et orifices d'admission et d'échappement.

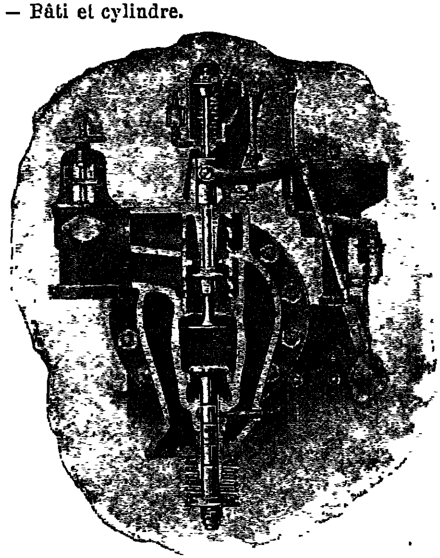


Fig. 52.
Coupe transversale de la chambre d'explosion.

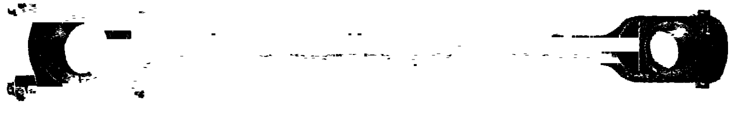


Fig 53. — Bielle.

nant d'un gaz insuffisamment épuré : le remède est très simple puisqu'il suffit d'adjoindre au gazogène des laveurs suffisants et des épurateurs chimiques dès que l'on emploie des combustibles

Pièces constituant le moteur



Fig. 54. — Culasse et joint du fond de culasse.

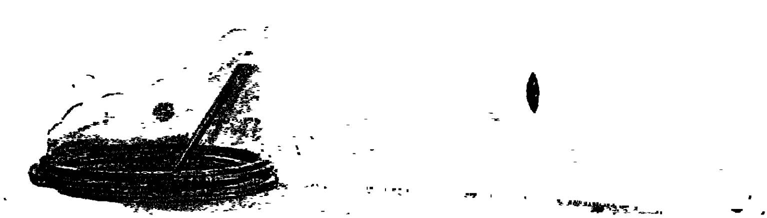


Fig. 55. — Piston et segments.

donnant beaucoup de poussières et de matières goudronneuses ; on évite de même la corrosion des soupapes par les gaz sulfureux qui sont absorbés par le fer et la chaux (*matière Laminy*) contenus dans les épurateurs.

Le nettoyage d'un moteur fonctionnant avec du gaz bien épuré n'est nécessaire qu'environ une fois par mois ; mais il faut

Pièces constituant le moteur (*suite*)

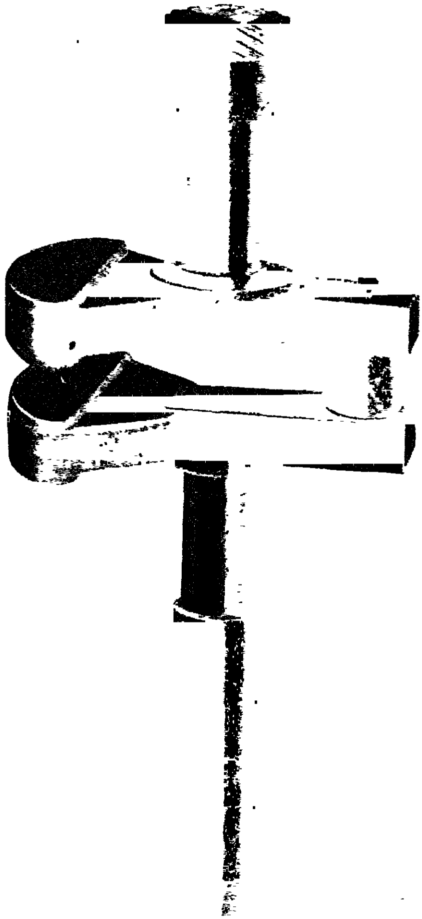


Fig. 56. — Arbre manivelle équilibré ;
à droite le pignon qui entraîne l'arbre à cames pour la commande des soupapes.

nettoyer et roder à l'émeri les soupapes tous les 8 ou 15 jours selon l'état du gaz et le temps de travail du moteur. Ces net-

toyages se font facilement et rapidement sans ouvriers spécialistes.

Allumage. — Les moteurs modernes sont tous munis d'une magnéto d'allumage fonctionnant soit à basse tension avec rupteur magnétique dans l'intérieur de la chambre d'explosion, soit à haute tension et à bougies. Ce dernier mode est surtout employé pour les moteurs à grande vitesse (type automobile ou type marin).

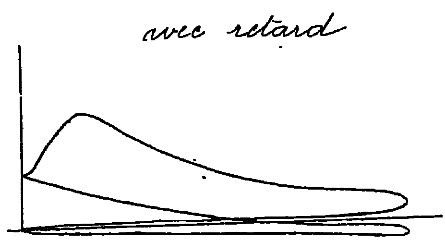


Fig. 57.

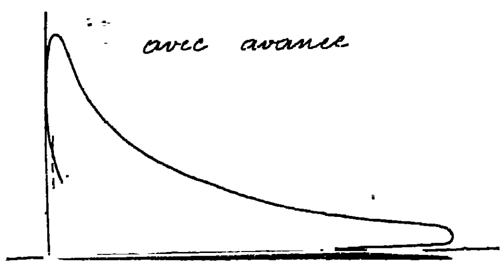


Fig. 58.

L'allumage par magnéto permet la régulation par admission variable qui donne au moteur plus de souplesse que l'ancienne régulation *tout ou rien* qui était seule possible avec l'allumage par brûleur et tube incandescent qui est à peu près abandonné aujourd'hui.

D'une façon élémentaire, on pourrait croire que l'allumage ou *mise de feu* dans le mélange d'air et de gaz inflammable, comprimé dans la culasse du cylindre, doit se faire au moment où la compression est complète et où le piston va commencer à s'éloigner du fond de culasse (fin du 3ᵉ temps). Mais il faut considérer

que l'inflammation des gaz comprimés demande un certain temps et il est reconnu que la puissance du moteur est considérablement augmentée quand on pratique *l'avance à l'allumage*, c'est-à-dire qu'on fait jaillir l'étincelle d'allumage *un peu avant* que le piston ne soit à fond de course de compression.

Les deux diagrammes figures 57 et 58 montrent la différence de puissance obtenue sans avance et avec avance à l'allumage, cette puissance étant représentée par la surface de la courbe fermée.

Le retard et l'avance à l'allumage sont commandés par un levier agissant sur le mécanisme d'entraînement de la magnéto.

Nos gravures 59 à 61 montrent les organes d'allumage généralement employés sur les moteurs à gaz pauvre.

En ce qui concerne le *tampon* ou *bloc* allumeur à rupture brusque, cet appareil est constitué par un cylindre isolant en porcelaine ou en matière analogue au centre duquel passe la tige conductrice du courant de la magnéto. Il faut éviter qu'après une période de repos du moteur, ce bloc isolant soit imprégné d'humidité ce qui nuit grandement à l'allumage.

Nous conseillons d'avoir sous la main un tampon allumeur de rechange, que l'on tient au sec, tout simplement en le mettant sur le pot d'échappement du moteur où la chaleur le séchera.

Pour que l'allumage fonctionne bien il faut que la porcelaine du bloc ne soit pas cassée ni fendue.

Souvent la marche défectueuse d'un moteur n'est due qu'à une détérioration du bloc d'allumage.

Régulation. — Les moteurs à gaz pauvre sont réglés en vitesse constante au moyen d'un régulateur centrifuge à boules ou à masses rappelées par un ressort. Dans les moteurs à brûleurs, le régulateur agit sur la came d'admission de gaz et déplace cette came sur son arbre de commande lorsque la vitesse dépasse la normale ; à ce moment, la came n'agit plus sur la soupape d'admission de gaz et l'explosion ne se produit pas dans le cylindre : il se produit des *passages à vide* ; c'est le système *tout ou rien*. Ce système de régulation a l'inconvénient de donner au moteur une

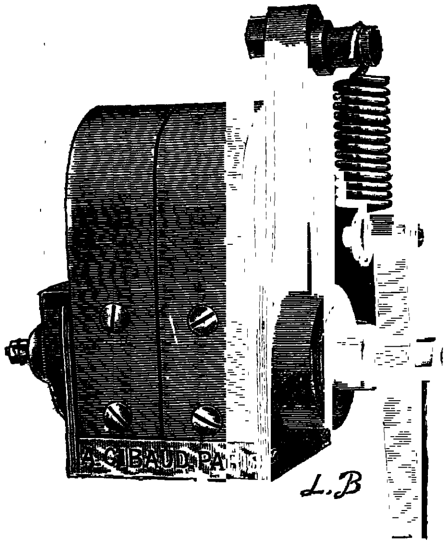


Fig5. 9. — Magnéto à déclic.

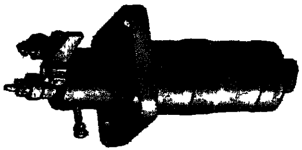


Fig. 60.
Tampon d'allumage à rupture brusque.



Fig. 61. — Commande du réglage de la magnéto et secteur d'avance à l'allumage (Crossley).



Fig. 62.
Commande du rupteur du tampon d'allumage (Crossley).

vitesse très irrégulière avec des variations de 5 °/₀ et même davantage entre les périodes d'accélération et de ralentissement. Il était impossible d'employer un autre mode de régulation avec l'allumage par brûleurs, parce que le mélange gazeux doit avoir sa pleine compression pour s'allumer au tube incandescent rougi le brûleur.

L'allumage par magnéto permet au contraire d'allumer un mélange gazeux à compression réduite, ce qui a conduit à adopter la régulation par *admission variable.* A cet effet, le régulateur centrifuge agit, *proportionnellement à la vitesse du moteur*, sur la levée de la soupape d'admission de gaz, de façon que la quantité de gaz admise est en rapport direct et exact avec l'effort résistant imposé au moteur. Les variations de vitesse sont ainsi réduites à 1 ou 2 °/₀ et se produisent insensiblement. Malgré cela, toutes les fois que l'on a besoin d'une vitesse très constante, on augmente le poids des volants du moteur, par exemple pour la production directe de la lumière électrique (moteurs à volants lourds ou à deux volants).

Certains constructeurs font agir le régulateur sur la soupape d'admission de gaz seulement, ce qui donne au moteur un mélange plus ou moins riche. D'autres font agir le régulateur en même temps sur la soupape d'admission de gaz et sur celle d'air, ce qui donne au moteur un mélange de composition constante, mais en quantité variable selon la puissance motrice nécessaire.

Régulateur Bollinckx

Ce régulateur est à force centrifuge, très sensible. Il est muni d'un dispositif permettant de faire varier, si nécessaire, la vitesse du moteur pendant la marche.

L'augmentation ou la diminution de la course de la soupape d'admission s'obtient par un changement d'amplitude du bras de levier. Lorsque la charge diminue, le régulateur, augmentant de vitesse, pousse un couteau à plan incliné sous un galet formant contrepoids de la bielle commandant la soupape d'admission. Le

point de contact du pied de cette bielle se rapproche de la culasse, c'est-à-dire du point d'articulation du levier de commande et ainsi la course de la soupape diminue. Dans cette position de la bielle de commande, c'est à-dire la plus rapprochée de la culasse, il n'entre plus dans les cylindres qu'une quantité de mélange suffisante pour vaincre le travail de frottement du moteur tournant à vide. Dans la position contraire de la bielle de commande, c'est-à-dire lorsque celle-ci est la plus éloignée de la culasse, la soupape atteint sa course maximum admettant, par conséquent le maximum de mélange gazeux. Le régulateur, n'ayant d'autre mission que de déplacer le couteau très léger, est excessivement sensible et ne subit aucune réaction.

Régulateur Hartung

Ce régulateur fait varier le volume du mélange gazeux proportionnellement à l'effort résistant imposé au moteur, la composition du mélange et, par le fait, son inflammabilité, restant constantes. Il agit en même temps sur la soupape de gaz et sur la soupape de mélange de gaz et d'air. L'action du régulateur à boules se fait au moyen d'un galet en acier qui s'interpose entre le levier d'admission et le levier de pression sur les tiges des soupapes concentriques d'admission de gaz et d'air.

Le levier d'admission commandé par la came de distribution, a une course constante, mais le galet commandé par le régulateur, suivant qu'il se déplace vers l'extrémité ou vers l'axe du levier d'admission, augmente ou diminue la course verticale du levier de pression qui détermine lui-même la levée plus ou moins grande des soupapes.

Régulateur Crossley

Cet appareil est représenté par les figures 63, 64 et 65. La variation de la levée de la soupape d'admission de mélange gazeux s'effectue par le *déplacement du point d'appui* du bras de levier qui agit sur la tige de cette soupape. Ce point d'appui

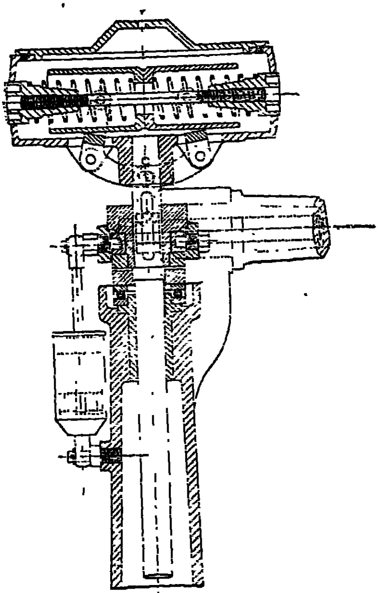


Fig. 62, *bis*.
Coupe verticale d'un régulateur centrifuge.



Fig. 63. — Régulateur et tige de commande de soupape d'admission (Crossley).



Fig. 64. — A faible charge.



Fig. 65. — A pleine charge.

Mode d'action du régulateur Crossley.

est constitué par l'extrémité d'une petite bielle commandée par le régulateur à boules. Dans la figure 64, marche à faible charge, cette biellette est oblique ; dans la figure 65 elle est verticale, pour la marche à pleine charge ; on voit que le bras du levier qui agit sur la soupape fournit une course plus grande que dans la figure 64 ; la soupape a une plus grande levée et il y a plus grande admission de gaz.

Variation de la vitesse. — Dans tous les régulateurs, il est prévu un petit levier ou une manette permettant de faire varier légèrement, 1 à 2 $^0/_0$ au dessus ou en dessous, la vitesse réglementaire prévue par le constructeur. Ceci a son importance dans la commande des machines électriques par exemple.

Mise en marche des moteurs. — Le lancement du moteur à gaz pauvre ne doit se faire que lorsqu'on a reconnu la *bonne qualité* du gaz en le faisant brûler au robinet témoin qui se trouve sur la conduite d'arrivée de gaz près de la cheminée. Quand le gaz brûle à ce robinet avec une flamme bleue et jaune, on peut mettre le moteur en marche. Jusqu'à ce moment il faut faire tourner le ventilateur à bras ; on ferme alors la cheminée du gazogène et on met celui-ci en communication avec le moteur. On tourne encore le ventilateur jusqu'à ce que le gaz brûle bien au robinet qui est sur la conduite de gaz près du moteur. Alors, on arrête le ventilateur et on lance vigoureusement le volant du moteur, ce qui peut se faire à bras d'homme pour les forces ne dépassant pas 50 à 60 chevaux ; à l'effet de faciliter le lancement, le moteur est muni d'un système de décompression comme les moteurs à gaz de ville. Pour le lancement des moteurs plus puissants on emploie l'air comprimé que l'on emmagasine dans un réservoir spécial au moyen d'un petit compresseur d'air mû par une courroie de transmission : l'appareil de mise en marche automatique comprend un compresseur d'air avec poulie fixe et folle, un réservoir en tôle d'acier, un manomètre et une soupape de sûreté ; les dimensions varient selon la puissance du moteur.

Il suffit de mettre le piston du moteur à fond de course haute

Démarrage par l'air comprimé



Fig. 66. — Le compresseur d'air est actionné par une courroie pour remplir le réservoir d'air comprimé.



Fig. 67. — L'air comprimé dans le réservoir suffit à plusieurs démarrages du moteur.



Fig. 68. — On peut employer des bouteilles d'air comprimé ou air liquide pour le démarrage automatique des gros moteurs.

point mort dépassé et de décaler la soupape spéciale d'admission d'air comprimé : le moteur est lancé aussitôt ; le réservoir d'air comprimé doit être calculé pour permettre d'opérer plusieurs lancements successifs. Nos gravures 66, 67 et 68 montrent ce dispositif de démarrage.

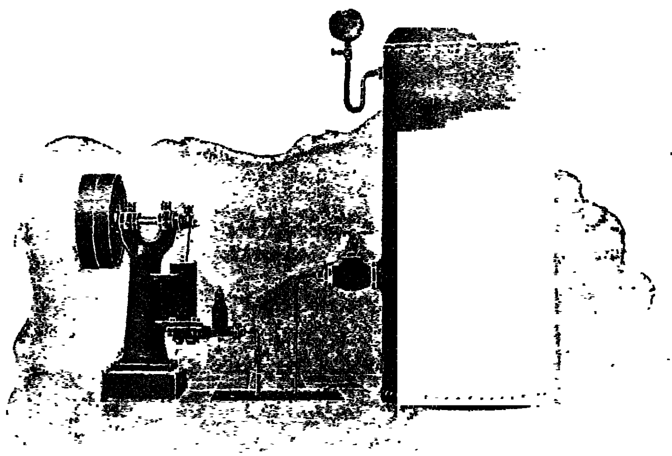


Fig. 68 A. — Appareil de démarrage à air comprimé de G. Martin et Cie.

Qualités à exiger dans un moteur. — A première vue, tous les moteurs à gaz se ressemblent ; certains sont cependant de beaucoup supérieurs aux autres sous le rapport de la consommation, de l'économie des dépenses d'entretien, de la durée, du silence, de la régularité de marche, de l'absence de trépidations, de la facilité de mise en train et de conduite, de l'économie d'huile.

Nous allons énumérer les conditions que nous jugeons les meilleures pour assurer au moteur les qualités énumérées ci-dessus :

1° Robustesse générale de la machine, le poids n'ayant aucune importance quand le moteur est en place.

2° Bâti fondu d'une seule pièce avec la chemise d'eau du cylindre : éviter les cylindres rapportés avec des boulons ou

cylindres *en porte à faux*, qui ne sont acceptables que pour les très petites forces au-dessous de 10 chevaux.

3° Cylindre rapporté dans la chemise d'eau ; ce cylindre en fonte très dure peut ainsi se changer facilement en cas d'avarie.

4° Piston très long, muni de 4 ou 5 segments dont la position est arrêtée par des ergots.

5° Axe de pied de bielle, en acier cémenté, trempé, arrêté dans le piston par des tire-fonds de sûreté.

6° Arbre vilebrequin très robuste en acier forgé, équilibré par des masses opposées à la manivelle (ceci pour les moteurs à partir de 20 chevaux).

7° Bielle en acier, longue, légère et cependant rigide grâce à sa forme de solide d'égale résistance (en fuseau ou profilée).

8° Coussinets très larges aux portées du vilebrequin, de la tête de bielle et du pied de bielle. Tous ces coussinets doivent être réglables au point de vue du jeu produit par l'usure normale. Les frottements sont en bronze phosphoreux ou en bronze garni de métal antifriction. Les écrous de serrage doivent être arrêtés par des contre-écrous ou un dispositif de sûreté quelconque.

9° Graissage automatique : du cylindre par garnisseur compte-gouttes ou distributeur mécanique d'huile ; du pied de bielle par un trou spécial ; de la tête de bielle par action centrifuge (un simple graisseur à mèche sur la tête de bielle est insuffisant et expose à de fréquents échauffements et grippages) ; des paliers de vilebrequin par bains d'huile ou bagues barbotant dans l'huile ; des engrenages de distribution par bain d'huile.

10° Cames en acier trempé et à fonctionnement très silencieux.

11° Soupapes verticales plutôt qu'horizontales ; les soupapes ne doivent en aucun cas pouvoir pénétrer dans l'intérieur du cylindre ; les soupapes verticales ont l'avantage de ne pas ovaliser leurs conduits de guidage. Les soupapes doivent être très facilement accessibles et démontables.

12° Allumage par magnéto préférable à l'allumage par brûleurs ou par piles ou accumulateurs.

13° Culasse facilement démontable.

14° Refroidissement par eau sur tout le cylindre et toute la culasse ; larges orifices d'eau pour le refroidissement par thermo-siphon.

15° Régulateur très sensible et ne permettant pas un écart de plus de 2 °/₀ entre la marche à vide et la pleine charge.

16° Volants très lourds et de grand diamètre.

17° Poulie tambour large et de grand diamètre donnant à la courroie une vitesse de 12 à 15 mètres par seconde.

Nous avons souvent remarqué sur les moteurs à gaz des poulies de trop petit diamètre, ce qui oblige à tendre outre mesure la courroie, d'où usure de la courroie et des coussinets de la transmission et du moteur.

18° Vitesse plutôt lente que rapide (voir le tableau précédent page 160).

19° Ne pas craindre d'acheter un moteur largement assez puissant et dépassant même les prévisions du moment afin d'avoir une réserve de force disponible ;

20° Installer le moteur dans un espace assez vaste pour que l'on puisse circuler facilement tout autour. Entourer le moteur d'une cage vitrée le mettant à l'abri des poussières et des intrus.

Nota. — Le décrassage du gazogène produisant toujours beaucoup de poussière, il est absolument nécessaire qu'une cloison sépare le moteur du local du gazogène. En effet, ces poussières cendreuses à base de silice sont extrêmement abrasives et corroderaient rapidement les organes du moteur.

Cependant, dans toute installation, on doit chercher à rapprocher le plus possible le moteur du gazogène. Il est mauvais que la longueur des tuyaux de gaz entre eux excède 3 à 4 mètres.

INFLUENCE DE LA GRANDE LONGUEUR DE LA TUYAUTERIE D'ÉCHAPPEMENT SUR LE RENDEMENT DES MOTEURS

La Compagnie des Moteurs à gaz National donne le résultat ci-dessous d'un essai fait sur un de ses moteurs dont la tuyauterie d'échappement avait une longueur de *trente mètres*.

Les essais furent faits à l'aide d'une génératrice commandée

par courroie, le courant débité était absorbé par des résistances.

Le rendement total, génératrice et courroie, a été estimé à 82 %.

Un indicateur de pression fut installé sur le cylindre de manière à pouvoir prendre des diagrammes au cours de l'expérience et les essais commencèrent à 10 h. 30 du matin.

Les lectures contradictoires à l'ampèremètre et au voltmètre eurent lieu toutes les quinze minutes.

La moyenne des lectures (6 h. 45′ de marche) donne :

Ampères	183,2
Volts	109
Soit en watts	19.968

Le rendement étant de 82 % la puissance moyenne développée a donc été :

$$\frac{19.968}{736 \times 0,82} = 33 \text{ HP.}$$

La consommation *brute* de charbon a été pour la durée de l'essai, soit 6 h. 45′ de : 86 kil. 100.

$$\text{Soit par cheval-heure effectif : } \frac{86 \text{ kil. } 100}{33 \times 6,45} = 386 \text{ grammes.}$$

En déduisant de ce chiffre, la teneur en cendres et en eau (5 % au total comme minimum) ce qui se fait pour tout essai, nous obtenons comme *consommation nette* en anthracite par cheval et par heure :

$$386 - 5\ \% = 366 \text{ grammes.}$$

De manière à déterminer la puissance maxima du moteur, la tuyauterie d'échappement fut, après le premier essai, coupée près du silencieux.

Les appareils électriques indiquèrent alors 196 ampères, sous 119 volts, ou 23.324 watts, soit une puissance de :

$$\frac{23.324}{736 \times 0,82} = 38 \text{ HP } 6$$

Dans ce moteur, la longueur excessive de la tuyauterie d'échappement absorbait près de *six chevaux*.

Il m'est arrivé d'être appelé pour examiner un moteur Otto

dont le rendement et la marche générale étaient fort mauvais, ce qui était anormal, vu le bon renom de cette firme. Je vis ce moteur pourvu d'une tuyauterie d'échappement présentant de nombreux coudes à angle droit, des *contre-pentes* qui formaient des poches d'eau par suite de la condensation des vapeurs contenues dans les gaz d'échappement et une longueur de plus de trente mètres, car, outre les parties horizontales, le tuyau vertical partait d'une cave et montait au-dessus des toits d'une maison de cinq étages.

Je fis établir un deuxième pot d'échappement et des purgeurs d'eau à chaque partie horizontale de la tuyauterie. Ceci fait, le fonctionnement du moteur redevint normal. Son rendement eût été considérablement amélioré si le propriétaire avait consenti à augmenter le diamètre des tubes d'échappement, ce qui eut remédié en partie à leur excessive longueur.

Il est de toute importance, comme on le voit par ces exemples, de permettre aux gaz d'échappement de se détendre le plus librement possible dès la sortie du cylindre, ce qu'on obtient au moyen de vastes pots d'échappement et de tuyauteries courtes et de gros diamètre.

Le tableau ci-après indique le diamètre normal des tuyauteries selon l'alésage et la course du moteur ; mais ces diamètres sont bons pour des tuyaux ne dépassant pas 3 à 4 mètres de longueur. S'il est absolument nécessaire, *pour la tubulure d'échappement* et *pour celle d'air frais*, d'avoir une plus grande longueur, nous conseillons d'employer le diamètre supérieur à celui indiqué par ce tableau.

CAUSES DE MAUVAIS FONCTIONNEMENT DES MOTEURS A GAZ PAUVRE. REMÈDES A EMPLOYER

Les causes de mauvais fonctionnement des moteurs à gaz pauvre peuvent avoir leur origine dans le gazogène qui fournit du *mauvais gaz*, dans la canalisation entre le gazogène et le moteur, enfin dans le moteur lui-même.

Tuyauteries des Moteurs - diamètres intérieurs -

Alésages / Courses m m.	Échappem^ts	Air	Gaz Pauvre	Gaz de Ville	Eau courante Entrée	Eau courante Sortie	Thermo Siphon Entrée	Thermo Siphon Sortie	Brûleur à Gaz
70 à 90 / 90 à 110	26	26		12	8	8	12	12	8
100 à 120 / 120 à 160	33	33		15	15	15	20	20	8
130 à 150 / 170 à 200	40	40		15	20	20	26	26	8
160 à 170 / 250	50	50		20	20	20	26	26	8
180 à 200 / 300	60	60	60	26	20	20	33	33	8
220 à 240 / 340	72	72	66	33	20	20	33	33	8
250 à 300 / 400 à 500	90	90	70	33	26	26	40	40	12
320 / 540	110	102	90	50	33	33	40	40	12
340 / 600	125	102	90	50	40	40	40	50	12
380 / 605	125	110	110	60	40	40	50	60	12
410 / 620	150	150	135	72	50	50	66	72	12
460 / 770	175	175	150	80	50	50	72	80	12
510 / 840	200	200	175	90	50	60	80	90	12
550 / 900	225	225	175 ou 200	100	60	66	90	100	12

Avant d'essayer de mettre le moteur en marche, il faut s'assurer que le *gaz est bon* (au robinet d'essai placé avant l'arrivée au moteur).

Si le gaz ne brûle pas *vivement*, avec une flamme bleue un peu jaune, presque invisible en plein jour et *très chaude*, *non fumeuse*, il est inutile d'essayer de mettre le moteur en marche.

A ce moment, le gazogène est soufflé par le ventilateur. Si le gaz n'est pas bon, c'est que le feu est mal allumé, il faut égaliser le combustible et s'arranger pour obtenir un bon feu en continuant à ventiler, la cheminée extérieure étant ouverte.

Lorsque le gaz arrive *bon* au robinet d'essai, il n'est pas certain que ce gaz restera bon quand le moteur aspirera ; en effet, à ce moment le gazogène ne sera plus *soufflé*, il fonctionnera en *aspiration* ; si les tuyauteries ne sont pas bien étanches, si les tampons des regards de décrassage ne sont pas bien fermés, il y aura des *rentrées d'air*, qui ne se sont pas produites au moment du soufflage du foyer et qui peuvent rendre le gaz mauvais.

C'est ce qui explique que, parfois, un moteur *part* très bien avec du bon gaz et s'arrête après quelques tours.

Le même fait se produit si les terres réfractaires du gazogène sont en mauvais état ; si le couvercle de la trémie de chargement est mal fermé ; si la vanne de la cheminée n'est pas hermétique ; si les joints hydrauliques ne sont pas garnis d'eau, etc.

Le mécanicien devra donc être certain du bon état des terres de son gazogène et de l'étanchéité des canalisations, ainsi que de la propreté intérieure des tuyaux, du pot à gaz, dans lesquels il ne doit pas rester de dépôts de cendres, ni de goudron, ni d'eau de condensation.

En cours de marche, le gaz peut devenir mauvais parce qu'il se forme, dans la masse de charbon incandescent, des *trous* ou *cheminées* dues le plus souvent à l'agglomération d'un charbon trop gras ou à la formation de mâchefers. Il faut alors ringarder le feu pour faire descendre les mâchefers et briser les agglomérations ; décrasser le cendrier et recharger en combustible frais.

On s'aperçoit que le gaz devient mauvais quand le moteur ralentit ou donne des ratés d'allumage.

Bien entendu, nous supposons que l'eau arrive régulièrement au vaporiseur et que le coke du Scrubber est propre et bien arrosé d'eau; c'est-à-dire que nous avons d'abord mis tout en bon état, autant que possible.

Les défauts qui peuvent provenir du moteur sont les suivants :

A. *Compression insuffisante.* — Cause :

1° Segments usés ou collés par dépôts charbonneux ou goudronneux. Les nettoyer en injectant du pétrole dans le cylindre du moteur; avoir des segments neufs et ajustés pour changer ceux usés;

2° Soupapes qui perdent le gaz. Les roder à l'émeri n° 1;

3° Soupapes qui ne retombent pas sur leurs sièges, soit que leur tige soit encrassée et ne glisse pas bien dans son guidage, soit que le bout de la tige porte sur le levier-poussoir lorsque celui-ci est au repos.

Nettoyer ces tiges, ou bien régler les poussoirs;

4° Joints mal faits à l'allumeur ou aux tampons qui ferment les divers orifices du cylindre; on y entend des sifflements au moment de la compression.

B. *Condensations d'eau dans le cylindre.* — Ceci se produit quelquefois en hiver quand le moteur est resté au repos assez longtemps.

Il faut sécher l'intérieur du cylindre, spécialement la chambre d'explosion, avec un chiffon sec ou même avec une lampe à souder dont on introduit la flamme par le tampon d'allumage.

Il peut arriver que, le joint entre le cylindre et la chemise d'eau de refroidissement étant mauvais, cette eau pénètre plus ou moins dans l'intérieur du cylindre.

Il en résulte une grande difficulté de mise en train et une perte de puissance du moteur en marche.

On s'aperçoit de ces fuites parce que, pendant la marche du moteur, on voit des bulles de gaz sortir avec l'eau qui sert au refroidissement du moteur.

Pour aveugler ces fuites d'eau, il suffit quelquefois de resserrer les boulons d'assemblage du cylindre sur le bâti, mais, le plus souvent, il faut démonter et refaire les joints.

C. *Mauvais allumage.* — Les défauts d'allumage viennent rarement de la magnéto; le plus souvent c'est le bloc allumeur qui en est cause : *isolant intérieur fondu* ou simplement *humide*; mauvais contact du *rupteur intérieur*; court-circuit extérieur entre le fil qui conduit le courant et les parties métalliques du moteur.

Nous conseillons d'avoir un ou deux blocs d'allumage de rechange et de les garder dans un endroit sec.

Se rappeler que l'excès d'avance à l'allumage peut empêcher la mise en marche et qu'il fait *cogner* le moteur en marche.

L'excès de retard à l'allumage est aussi nuisible.

D. *Mélange air-gaz défectueux.* — Le constructeur du moteur indique au mécanicien la position des manettes air, gaz ou mélange pour la mise en route et pour la marche normale. Il n'y a pas lieu de s'éloigner beaucoup de ces indications primitives, qui ne peuvent qu'être à corriger très légèrement selon la température, la pression barométrique ou l'état d'humidité de l'atmosphère.

NOTA. — Nous n'avons indiqué ici que les pannes spéciales aux moteurs à gaz pauvre; ces moteurs étant construits exactement d'après les mêmes principes que les moteurs à gaz de ville ou à essence, nos lecteurs consulteront avec fruit le *Manuel pratique du moteur agricole* (R. Champly, Desforges, éditeur) dans lequel la description de tous les organes du moteur est faite, ainsi que leur théorie élémentaire.

GRAISSAGE DES MOTEURS

ANCIEN SYSTÈME DE GRAISSAGE (Voir fig. 44)

Paliers de l'arbre coudé. — Ces paliers sont généralement à graissage à bagues. Des bagues à huile se trouvent à l'intérieur du palier et sont suspendues autour de l'arbre. Quand l'arbre tourne, les bagues, en tournant également, ramènent constamment du réservoir qui se trouve au-dessous de l'arbre, de l'huile

sur le dessus de cet arbre, d'où elle se répartit sur la surface des coussinets. Après avoir été expulsée des paliers, l'huile retourne dans le réservoir, afin de servir de nouveau (fig. 69).

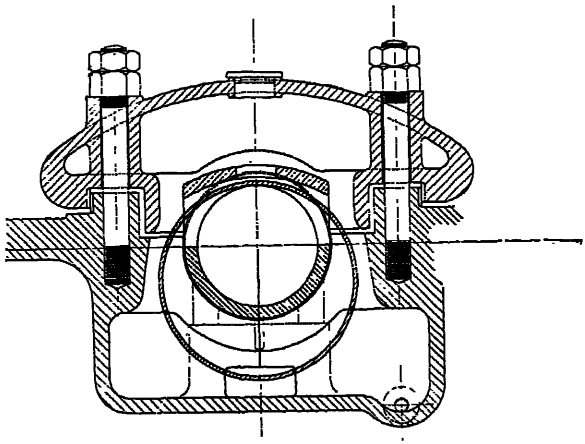


Fig. 69. — Coupe d'un palier d'arbre manivelle graissé par bague.

Tête de bielle. — La tête de bielle est graissée à l'aide d'un anneau fixé sur le côté de la manivelle. L'huile contenue dans un graisseur à pointeau et à compte-gouttes, arrive par un tuyau dans la rainure à l'intérieur de l'anneau. L'anneau tourne avec l'arbre, et la force centrifuge refoule l'huile dans un conduit pratiqué dans l'axe de la manivelle. Ce conduit se termine par un autre conduit radial, qui emmène l'huile aux surfaces des coussinets (fig. 70).

Piston. — L'huile contenue dans un graisseur à pointeau et à compte-gouttes, passe par le tuyau et arrive au piston par un trou pratiqué dans la paroi du cylindre. L'huile se répand sur la surface du piston, en assurant le graissage et l'étanchéité nécessaires. Toute nouvelle addition d'huile tend à enlever les impuretés qui, pendant la marche, se collent contre les surfaces huileuses.

Pied de bielle ou axe du piston. — Dans la partie supérieure du piston, se trouve une petite gorge, dans laquelle une certaine partie de l'huile venant du graisseur s'accumule. De cette gorge,

l'huile passe par le tuyau, puis par le trou de graissage et arrive ainsi jusqu'à la surface portante de l'axe du piston (fig. 71).

Arbre de distribution. — L'arbre de distribution est supporté par des paliers qui doivent être de préférence à bagues, mais souvent on se contente de paliers ordinaires graissés au moyen d'un petit graisseur à pointeau et à compte-gouttes.

Cames de distribution et tiges de soupapes. — Les cames de distribution, ainsi que les tiges des soupapes d'admission, et d'échappement sont graissées de temps en temps à la main.

Un perfectionnement à cet ancien système de graissage con-

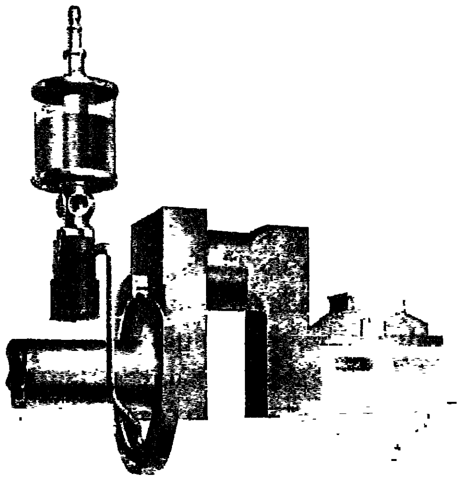


Fig. 70. — Graissage de l'arbre manivelle par paliers à bagues et du maneton de tête de bielle par couronne à action centrifuge.

siste à mettre un graisseur compte-gouttes spécial pour le pied de bielle. Le piston porte une gouttière formant *lécheur,* qui ramasse la goutte d'huile et la conduit à l'axe du pied de bielle (fig. 71).

Le mécanicien ne doit pas oublier d'ouvrir les graisseurs à la mise en route et de les fermer à l'arrêt du moteur.

Graissage par pompe à huile. — La figure 72 montre un moteur dont le cylindre et le piston sont graissés par une pompe à

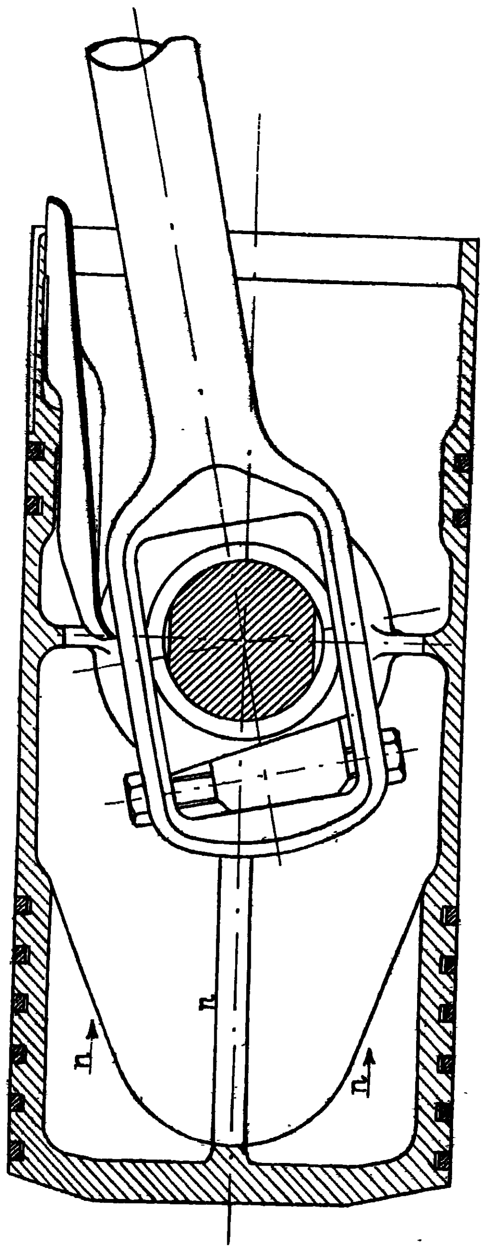


Fig. 71.
Pied de bielle et axe du piston, avec gouttière pour amener l'huile sur cet axe

huile mue par l'arbre à cames. Cette pompe est alimentée par un réservoir en verre.

Ce système, ainsi que le suivant, a l'avantage de faire commencer automatiquement le graissage lors de la mise en marche du moteur et de la faire cesser de même lors de l'arrêt.

Avec le système ancien, il arrivait souvent que la graisseur du cylindre restait ouvert et l'huile était perdue.

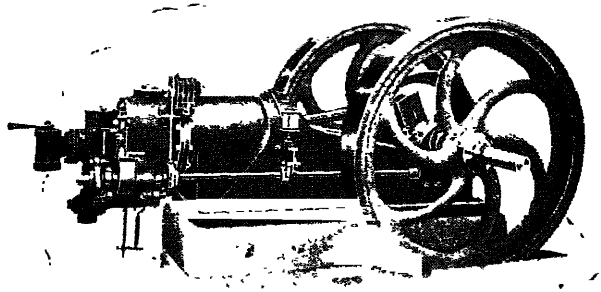


Fig. 72.

Système moderne de graissage

Dans ce système un graisseur mécanique fournit d'une façon uniforme et sûre, la quantité d'huile nécessaire à un graissage parfait et économique du piston, de l'axe du piston, de la tête de bielle et de la tige de la soupape d'échappement.

On emploie ici une pompe à huile actionnant une rampe à 4 débits que l'on voit sur la figure 73.

Chacun des départs de ce graisseur automatique se règle séparément. Ce système a été breveté par la Vacuum Oil C°, il assure un débit rigoureusement constant, indépendamment du niveau de l'huile contenue dans le récipient, de la température ambiante et de l'épaisseur de l'huile.

Ce graisseur est actionné par l'arbre de distribution au moyen d'un excentrique qui donne un mouvement oscillatoire à un levier commandant le mécanisme intérieur.

Le graisseur mécanique doit, de préférence, être à 4 départs, soit : pour le piston, l'axe du piston, la tête de bielle et la tige de la soupape d'échappement.

Afin que les tuyaux de graissage soient toujours remplis d'huile

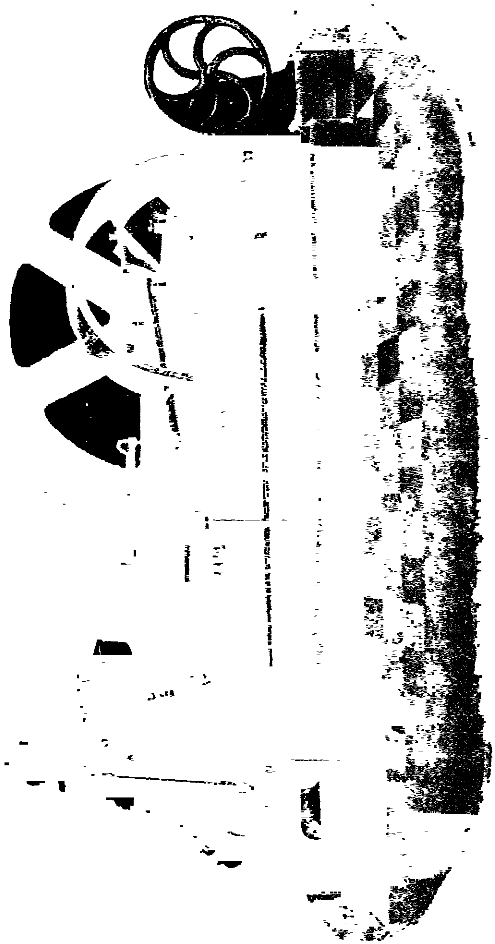


Fig. 73. — Moteur graissé par un distributeur à 4 départs.

ceux-ci doivent être munis, à leur extrémité, d'une soupape de retenue.

Quand le graisseur fonctionne, la pression à l'intérieur du tuyau d'huile ouvre la soupape de retenue et laisse s'écouler l'huile tandis que, lorsque la machine s'arrête et que le graisseur

cesse de fonctionner, la soupape de retenue empêche l'huile contenue dans le tuyau de s'écouler; de cette façon, les tuyaux étant toujours pleins, le graissage est effectué aussitôt que le moteur et le graisseur se mettent en route.

NOTE SUR LA QUALITÉ DES HUILES POUR LE GRAISSAGE DES MOTEURS (¹)

La qualité de l'huile de graissage dont on se sert sur un moteur à gáz de petite ou moyenne puissance, a une très grande influence sur son fonctionnement.

Des huiles de qualité appropriée (²), spécialement choisies et traitées pour les conditions de fonctionnement des moteurs à gaz et appliquées d'une façon bien comprise réduiront à leur minimum, les pertes de puissance dues au frottement. Ces pertes par frottement dans un moteur à gaz de petite ou de moyenne puissance, se montent à un chiffre variant de 12 à 25 °/₀ de la puissance normale du moteur, et *ceci indépendamment du travail utile effectué par le moteur*.

En employant des huiles de bonne qualité, en comparaison avec des huiles ordinaires, la quantité totale de gaz consommé par la machine se trouvera réduite de 5 à 10 °/₀, la machine développant le même travail utile; les dépenses d'entretien et de réparations sont de beaucoup réduites, la marge de sécurité est augmentée, la possibilité des avaries moindre, et la durée du moteur plus grande.

Si l'on emploie, pour le graissage des cylindres, une huile *trop épaisse*, elle ne se répand pas assez facilement sur la totalité de la surface du piston; de plus, le frottement est inutilement élevé, les impuretés dans le gaz ou dans l'air sont retenues par la couche d'huile et finissent par former avec celle-ci un dépôt plus ou moins dur.

Si, d'un autre côté, on emploie une huile *n'ayant pas assez de corps*, elle ne résiste pas à l'influence de la température élevée

(¹) Communiqué par la Vacuum Oil C°.
(²) Les huiles employées sont toujours d'origine minérale (naphtes).

du cylindre, elle devient trop fluide et ne produit plus une étanchéité complète, ce qui a comme résultat une usure excessive du piston, des segments, et de la paroi du cylindre, ainsi qu'une fuite de gaz. Par la suite, il se forme des dépôts contenant un fort pourcentage de fer et d'oxyde de fer provenant de l'usure de la fonte dont sont faits le piston, les segments et le cylindre.

Les paliers de l'arbre coudé, le plus souvent à bagues, donnent en général, peu d'ennuis. Leur température doit être peu au-dessus de celle de l'air ambiant. Si la température est élevée, il faut l'attribuer à l'emploi, soit d'une huile non appropriée, soit d'une huile de qualité inférieure, soit encore à une défectuosité mécanique ou de montage.

Quand on se sert d'une huile ordinaire, on est quelquefois forcé de la changer toutes les quatre semaines, tandis qu'une huile de qualité supérieure peut rester en service pour ainsi dire jusqu'à complet épuisement.

Lorsqu'on emploie une huile ordinaire, il arrive que l'on constate une élévation de température et alors on voit souvent le mécanicien ajouter, tous les jours, une petite quantité d'huile au palier. Ce procédé ne refroidit pas les paliers, mais constitue, par contre, un gaspillage inutile de l'huile et salit la salle des machines, car l'huile finit par déborder des paliers.

La *tête de bielle* est un organe capital du moteur, étant donné qu'elle transmet la force du piston à l'arbre coudé. Pour cette raison, il faut veiller attentivement à ce que la qualité appropriée et la quantité nécessaire d'huile soient judicieusement employées à son graissage.

Une huile ordinaire non appropriée donnera une température élevée et exigera une grande consommation. Avec une telle huile, on a aussi des risques d'avoir à la longue, une usure anormale et par suite des à-coups.

Une huile de qualité supérieure et bien appropriée réalisera, au contraire, un graissage avec un minimum de consommation et d'usure.

Il est quelquefois nécessaire, dans les moteurs à gaz de moyenne puissance, de se servir d'une huile plus visqueuse pour

le graissage de la tête de bielle que pour le graissage des autres mouvements, à cause des grands efforts auxquels la tête de bielle est exposée.

Le *piston* est l'élément le plus important du moteur à gaz. Si l'on se sert d'une huile impure ou non appropriée, ou si l'on graisse en excès, ce qui est généralement le cas, il se forme des dépôts sur la tête du piston et derrière les segments, tandis que la partie du piston, côté bielle, se trouve couverte d'une couche d'huile mélangée de dépôts noirâtres.

Ces dépôts empêchent les segments de jouer librement dans leurs gorges et il se produit une fuite de gaz lors de l'explosion et de la compression. Une usure excessive des segments et de la paroi du cylindre a lieu, avec le résultat que dans les cas extrêmes, les segments se cassent, ou que le moteur s'arrête complètement.

Avec une huile de qualité supérieure et appropriée, le graissage est assuré avec une consommation moindre qu'avec une huile ordinaire et la tendance à la formation de dépôts carbonisés est réduite à son minimum.

Afin d'obtenir un bon résultat, il devient nécessaire, pour cette raison, de surveiller les points suivants :

1° *Le gaz doit être aussi pur que possible*; 2° *l'huile employée doit être d'une qualité supérieure et appropriée ;* 3° *la consommation d'huile ne doit pas être en excès, mais réduite à la quantité exactement nécessaire ;* 4° *l'application de l'huile doit se faire de la meilleure façon possible, c'est-à-dire que l'introduction de l'huile doit avoir lieu entre le premier et le deuxième segment, quand le piston est à son point mort extérieur.*

Le *pied de bielle* ou *axe du piston* demande des soins particuliers, en ce qui concerne le graissage, car il est placé dans la cavité intérieure du piston et exposé à une température élevée.

La pression est forte et le mouvement oscillatoire petit, aussi l'huile se répand-elle difficilement sur toute la surface des coussinets. En conséquence, on doit se servir d'une huile qui conserve, autant que possible, son pouvoir lubrifiant, malgré la

température élevée, et qui se répande facilement sur toute la surface de frottement.

On comprend aisément qu'une huile *non appropriée* amènera vite une usure excessive de ce palier et, en particulier, dans les moteurs possédant l'ancien système de graissage où l'huile qui graisse l'axe du piston provient de la gorge se trouvant sur la partie supérieure du piston, endroit où l'huile est plus ou moins exposée à être contaminée par de l'huile déjà carbonisée. Avec ce système, il devient nécessaire de graisser le piston en abondance, afin qu'une quantité suffisante arrive à s'écouler par le tuyau jusqu'à l'axe du piston, mais d'autre part, un graissage abondant a toujours comme résultat une formation de dépôts et une perte inutile d'huile.

Dans les systèmes plus récents, l'axe du piston est graissé séparément, ce qui permet de réaliser ce graissage avec une quantité d'huile bien moindre.

L'huile noire qui s'écoule du piston et du pied de bielle doit être mise dans l'impossibilité de couler vers le fond du bâti se trouvant au-dessous de la manivelle et d'y contaminer l'huile qui est expulsée de la tête de bielle. C'est pourquoi le moteur doit être pourvu d'une nervure et d'une purge permettant de récupérer l'huile noire séparément.

DÉPOTS DANS LE CYLINDRE

La formation des dépôts est due à une ou plusieurs des causes suivantes : 1° impuretés dans l'air atmosphérique aspiré par le moteur ; 2° impuretés dans le gaz ; 3° suie provenant d'une combustion incomplète ; 4° graissage trop abondant ou insuffisant ; 5° emploi d'une huile de qualité inférieure ou non appropriée.

La formation des dépôts peut dans certains cas, causer un allumage prématuré, et des explosions dans les tuyaux d'échappement.

L'air aspiré par le moteur n'est généralement pas filtré, même quand les moteurs sont placés dans des endroits où l'atmosphère

contient des poussières. Celles-ci constituent souvent, indépendamment du gaz employé, une cause de dépôt dans les moteurs à gaz.

Dans ces cas-là, une analyse chimique des dépôts prouvera la présence de débris de toutes sortes, tels que : poussière de charbon, poussière calcaire, sable, etc... Les dépôts contiendront également de l'huile, ainsi que de l'huile partiellement détériorée par l'action des impuretés dans des conditions de température élevée. On trouvera en outre un certain pourcentage de fer et d'oxyde de fer provenant de l'usure des segments du piston et du cylindre.

Dans les moteurs qui marchent avec du *gaz naturel* ou du *gaz de ville*, gaz qui, en général, ne contiennent pas d'impuretés, les dépôts peuvent provenir d'une combustion incomplète, due à un allumage faible, ou à un déréglage des soupapes d'admission et d'échappement.

Dans les moteurs qui marchent au *gaz pauvre*, les dépôts émanent le plus souvent des impuretés contenues dans le gaz, telles que cendres, poussières de coke, suie et goudron provenant du gazogène. Tout combustible contient des cendres et il est à recommander qu'à des intervalles réguliers, le générateur soit alimenté et que le mâchefer et les cendres soient enlevés de la grille.

Dans le générateur, les cendres provenant du combustible incandescent tombent continuellement à travers la grille, et si celle-ci n'est pas recouverte d'une couche suffisante et uniformément répartie de combustible, l'on risque que de la cendre fine soit entraînée par l'injection de l'air et de la vapeur, qui a lieu dans le fond du générateur et soit, par la suite, entraînée par le gaz. Pour cette raison, un remplissage régulier est très important, puisqu'il empêche la couche de combustible de devenir trop mince.

Quand on utilise du coke, dans le gazogène, on n'a pas à craindre le goudron, mais on peut se trouver en présence d'un entraînement de poussières de coke sous une forme si fine que ni l'épurateur, ni le laveur, ni le filtre, ne peuvent la retenir.

Si l'on emploie de l'anthracite, malgré que ce combustible ne contienne qu'un faible pourcentage de goudron, de la suie et du goudron se trouvent quand même entraînés.

Dans les gazogènes brûlant du lignite, lequel contient plus ou moins de goudron et de suie, le danger de formation de dépôts dans le cylindre du moteur est plus grand.

Le lignite renferme également un faible pourcentage de soufre, qui, dans bien des cas, noircira la surface du piston, sans toutefois causer d'ennuis par lui-même.

Si le gaz provient de charbon bitumineux, on risque beaucoup d'avoir un entraînement de suie ou de goudron, étant donné que le charbon de cette catégorie en contient un grand pourcentage.

Le gaz pauvre est toujours humide. L'humidité facilite la réunion des impuretés contenues dans le gaz et dans l'air, créant ainsi une source de formation ultérieure de dépôts.

Les impuretés se déposent dans le tuyautage et la soupape d'admission, ainsi que sur la surface se trouvant exposée au gaz à l'intérieur du cylindre, où elles adhèrent et contaminent la couche d'huile qui se trouve sur le piston, les segments et la paroi du cylindre.

Si, en examinant la soupape d'admission, on y trouve des dépôts de goudron et de suie, on a la preuve que les dépôts sont bien imputables aux impuretés en suspension dans le gaz, et non à l'huile, étant donné qu'il est impossible à l'huile d'arriver jusque dans la soupape d'admission.

Graissage trop abondant. — Un graissage trop abondant, même quand on emploie une bonne huile, produit des dépôts. L'huile en excès pénètre jusqu'à la tête du piston où elle brûle et se carbonise. La formation des dépôts, qui en résulte est aggravée, si le gaz contient des impuretés, ou si la combustion est incomplète, par le fait que les impuretés adhèrent à la couche d'huile carbonisée, ce qui la rend encore plus épaisse.

Huile non appropriée. — Avec une huile non appropriée, on est forcé de graisser avec excès. L'excès d'huile passe au delà du piston, se carbonise, et se mélange avec les impuretés qui, ou bien sont contenues dans le gaz, ou bien proviennent d'une com-

bustion incomplète, d'où comme conséquence une formation de dépôts durs et cassants.

Allumage prématuré et explosion dans le tuyau d'échappement. — Quand il se forme des dépôts à l'intérieur de la culasse, si le refroidissement est peu efficace, ces dépôts deviennent, par la suite, incandescents et allument le mélange tonnant avant le moment où l'allumage devrait avoir lieu ordinairement. On appelle ce phénomène : allumage prématuré. Il fatiguera beaucoup le piston et la tête de bielle.

Les allumages prématurés se produisent souvent dans les moteurs qui, tout en ayant été construits pour utiliser du gaz pauvre, fonctionnent au gaz de ville, ce dernier étant plus riche en calorique, s'allume à une température bien inférieure à celle du gaz pauvre.

Les explosions prématurées sont faciles à distinguer des explosions ordinaires, car elles sont plus aigues et font plus de bruit que ces dernières.

Quelquefois l'allumage n'a pas lieu, parce que l'étincelle électrique ne se produit pas, ou parce que le mélange de gaz et d'air est trop pauvre pour s'allumer. Le gaz pauvre, produit dans un gazogène, devient quelquefois trop pauvre pour faire explosion, surtout au moment où le travail du moteur est augmenté brusquement, et où il y a nécessité d'accélérer la production de gaz.

Dans ces différents cas, le mélange des gaz non brûlés passe dans le tuyau d'échappement où, en rencontrant les gaz chauds des explosions antérieures, il s'allume et fait explosion avec un grand bruit. On appelle ces explosions : explosions d'échappement.

On obvie à ces divers inconvénients en nettoyant périodiquement l'intérieur de la culasse, comme nous l'avons dit déjà.

ACCOUPLEMENT
DES MOTEURS A GAZ PAUVRE AVEC LES TRANSMISSIONS D'USINES

L'accouplement d'un moteur à gaz pauvre avec les transmissions d'usines doit être nécessairement susceptible d'être débrayé et embrayé très facilement.

En effet, tandis qu'une machine à vapeur démarre en charge, il n'est pas de même du moteur à gaz, qui doit être lancé à bras d'hommes, ou, pour les grandes forces, avec un compresseur d'air ; ce lancement ne peut se faire facilement que si le moteur est complètement libre dans sa rotation, et les transmissions d'usines, étant toujours chargées de courroies nombreuses, opposent au lancement du moteur à gaz une résistance qui est absolument inacceptable.

Il est donc nécessaire de débrayer la poulie de commande des transmissions pour mettre en marche le moteur.

S'il est pratique d'opérer le débrayage et l'embrayage d'un petit moteur avec les transmissions, au moyen d'une courroie et de deux poulies, fixe et folle, ce procédé est sujet à beaucoup de critiques, dès que le moteur atteint seulement la force de 20 ou 30 chevaux. En effet, le débrayage d'une courroie dont la largeur arrive déjà dans ce cas à 25 ou 30 centimètres est des plus pénibles. En outre, cette opération fatigue rapidement les courroies qui sont toujours d'un prix très élevé et dont la bonne conservation présente un grand intérêt pratique.

Un industriel a donc le plus grand avantage à substituer à ce procédé d'accouplement un embrayage métallique, dont le fonctionnement est facile et instantané et qui laisse toujours la courroie tendue sur les mêmes poulies.

CHAPITRE V

LE GAZ PAUVRE ET LA TRACTION AUTOMOBILE

De nombreux essais ont été tentés pour appliquer le moteur à gaz pauvre à la traction des véhicules sur rails ou sur route. On peut dire que maintenant le problème est parfaitement résolu, au moins en ce qui concerne les véhicules de gros transport. Le principal avantage est la grande économie de consommation de combustible, le plus gros écueil à franchir était l'alimentation de moteurs à grande vitesse, de construction assez délicate, par un gaz souvent insuffisamment épuré. L'épuration complète du gaz était difficile à cause de l'impossibilité de placer, sur un châssis d'automobile, un scrubber avec lavage à l'eau courante et un épurateur chimique ; il en résultait un gaz fort impur qui encrassait très rapidement et irrémédiablement les soupapes des moteurs.

D'autres difficultés provenaient de l'allumage qui était souvent mauvais avec les magnétos ordinairement employées pour les moteurs d'automobiles et dont la tension de courant électrique était insuffisante pour donner l'étincelle dans la masse de gaz pauvre fortement comprimée.

Peu de constructeurs ont poursuivi les premiers essais et nous nous sommes adressés à l'un de ceux qui ont réussi à créer des camions automobiles fonctionnant très régulièrement au gaz pauvre : M. Cazes, dont les usines sont à Courbevoie (Seine), a bien voulu nous communiquer de très intéressants documents sur ces véhicules économiques. Les camions Cazes emploient le gaz pauvre produit dans un gazogène léger disposé sur le châssis du véhicule, au fur et à mesure que le moteur l'aspire, et cela

sans aucun danger d'incendie si redoutable avec les véhicules à essence.

Le gazogène utilise comme combustible le charbon de bois menu (braisette) qu'on peut se procurer dans presque toutes les régions à un prix assez réduit, et en tous cas, sensiblement inférieur à celui que nous payons à Paris, soit 80 francs la tonne.

Mais même à ce prix de 80 francs la tonne, l'économie reste considérable, et il résulte des expériences récemment faites par les principaux clients que la consommation de ces véhicules atteint à peine le quart ou le cinquième du prix réalisé avec les véhicules à essence.

Travaillant à pleine charge, au frein, la consommation des camions Cazes, ne dépasse pas, en effet, 600 grammes de braisette de charbon de bois par cheval effectif et par heure [1], ce qui représente 12 kilogrammes pour un camion de 20 HP, 24 kilogrammes pour un camion de 40 HP, soit à 8 francs les 100 kilogrammes 0 fr. 032 la tonne kilométrique; mais cette consommation n'est pas atteinte dans la pratique, car le moteur du véhicule ne travaille que par intermittences à pleine charge, et on peut compter sur un chiffre de consommation moyenne sensiblement inférieur à ceux-ci.

Ces camions sont construits de façon la plus robuste, avec des matériaux de premier choix; leur vitesse ne doit pas dépasser 10 à 12 kilomètres à l'heure pour permettre le roulement sur bandages métalliques.

Ils peuvent monter en charge toutes les côtes admises en matière de voirie, c'est-à-dire jusqu'à 10 ou 12 %.

Les bandages en fer sont larges de façon à ne pas détériorer les routes sur lesquelles ils circulent.

Grâce à leur robustesse et à la vitesse réduite de leur moteur, leur entretien et leur durée sont sensiblement plus économiques que ceux des véhicules à essence.

Ces camions peuvent être établis sur roues à bandages caout-

---

(1) Soit une dépense de 0 fr. 048 par cheval-heure au lieu de 0 fr. 20 avec l'essence de pétrole.

Moteur à gaz pauvre pour camion automobile

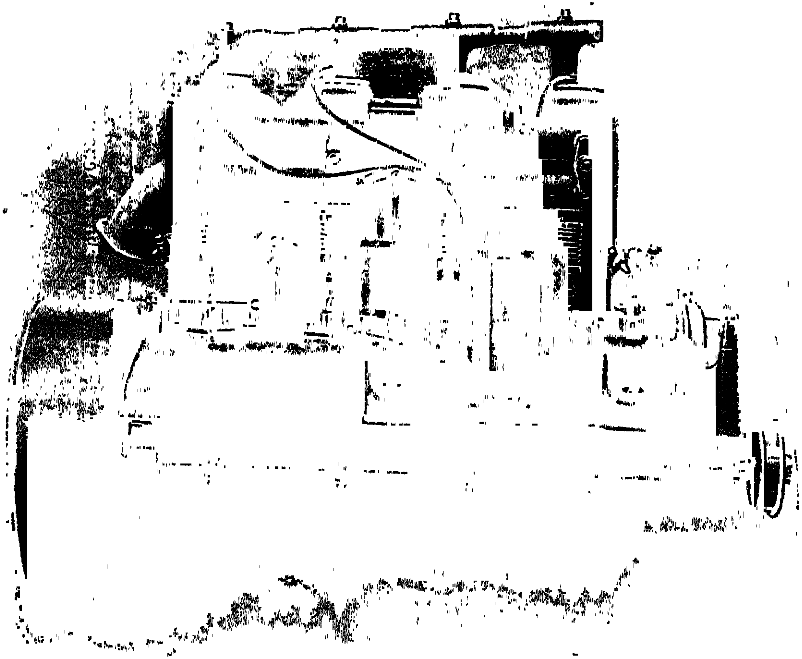


Fig. 74. — Côté admission et magnéto d'allumage.

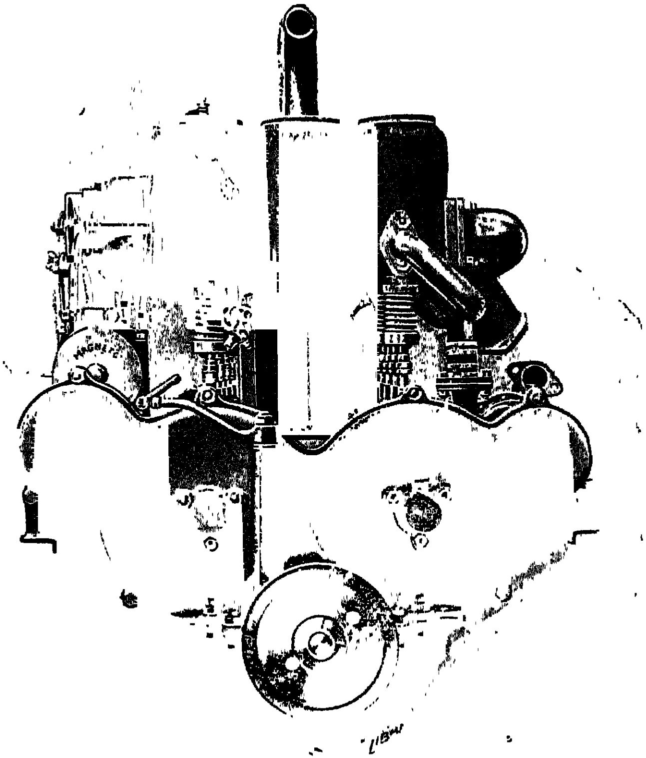


Fig. 75. — Vue par l'avant.

Moteur à gaz pauvre pour camion automobile

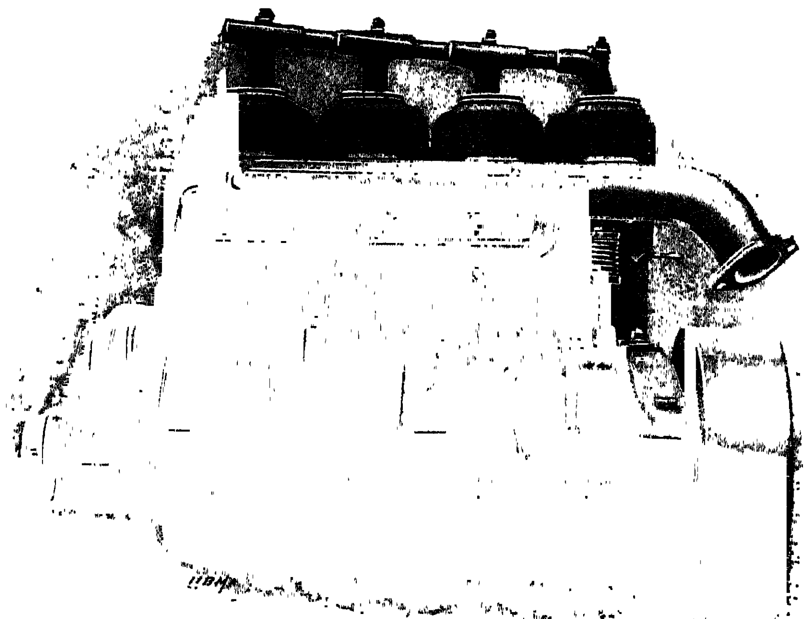


Fig. 76. — Côté échappement.

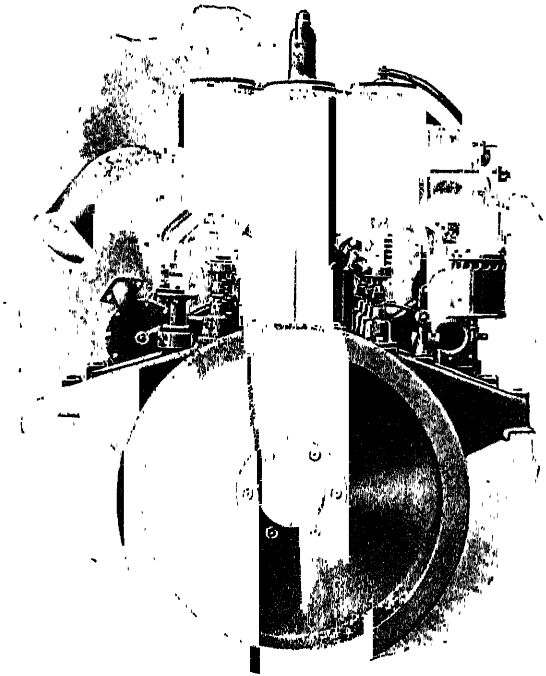


Fig. 77. — Volant et carburateur.

choutés. Toutefois, nous faisons remarquer à ce sujet que l'usure très rapide des caoutchoucs, qui permettent évidemment d'augmenter beaucoup la vitesse, entraîne un supplément de frais d'entretien qui triple ou quadruple le prix de la tonne kilométrique ; nous ne conseillons donc pas de caoutchoutage des roues, malgré l'avantage apparent de vitesse qu'il procure.

Les usines Cazes construisent deux types de camions au gaz pauvre.

L'un avec moteur de 20 HP à 2 cylindres pour deux ou trois tonnes de charge utile :

1° Avec roues à bandages métalliques ;

2° Avec roues à bandages caoutchoutés.

L'autre avec moteur de 40 HP à 4 cylindres, pour cinq à six tonnes de charge utile :

1° Avec roues à bandages métalliques ;

2° Avec roues à bandages caoutchoutés.

Le moteur de ces véhicules travaille pratiquement entre 800 et 900 tours, vitesse réduite qui assure sa longue durée.

Le camion emporte sa provision d'eau et de charbon pour 10 heures de marche. Le gazogène se charge toutes les deux heures et le gaz produit par le charbon de bois ne nécessite pas de grand lavage ni d'épuration, ce qui permet la marche régulière du moteur sans risque d'encrassement rapide.

Le gazogène par aspiration de M. Cazes se compose d'un cylindre en terre réfractaire, entouré d'une caisse métallique. C'est le générateur de gaz. Il est en communication avec un refroidisseur des gaz faisant fonction de récupérateur, en réchauffant l'eau nécessaire à la vaporisation. L'eau ainsi réchauffée passe sur le dôme du gazogène, d'où, à l'état de vapeur, elle est amenée à la base du cendrier.

Les gaz produits, une fois refroidis, sont conduits dans un scrubber, où ils se débarrassent des poussières entraînées, avant d'être envoyés au moteur.

Ces différentes parties de l'appareil se trouvent réunies de telle sorte que l'encombrement total est réduit au minimum.

Il est intéressant de faire la comparaison de *dépense en com-*

bustible à la tonne kilométrique transportée avec les camions à gaz pauvre et les autres camions.

Nous admettrons la même vitesse, la même charge transportée, la même puissance dans les camions à essence et à gaz pauvre et une puissance inférieure dans les camions à vapeur pour tenir compte de la plus grande souplesse de la machine à vapeur.

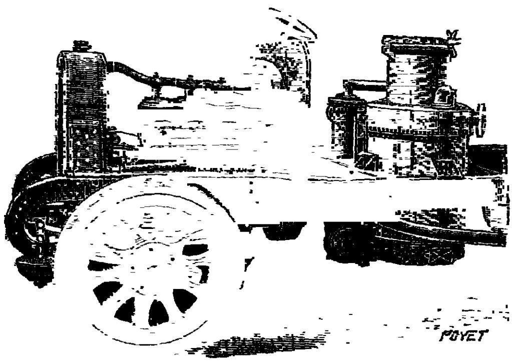


Fig. 78. — Installation du gazogène sur un camion automobile.

Le coût de la tonne kilométrique par camion à gaz pauvre est donc *dix fois moins élevé* que par camion à essence et presque *deux fois moins élevé* que par camion à vapeur.

Pour les Colonies ces véhicules peuvent rendre des services inappréciables, car le combustible se trouve sur place et il faut très peu d'eau, 30 litres par jour de 10 heures de marche.

COMPARAISON ENTRE LE PRIX DU TRANSPORT DE 6 TONNES DE MARCHANDISES A 20 KILOMÈTRES PAR MOTEUR A GAZ PAUVRE ET TRACTION ANIMALE

Par traction mécanique : Camion à gaz pauvre. — Un camion à gaz pauvre, transportant 6 tonnes de marchandises à 20 kilomètres, marche à 10 kilomètres à l'heure ; en dix heures 100 kilomètres et transporte 30 tonnes.

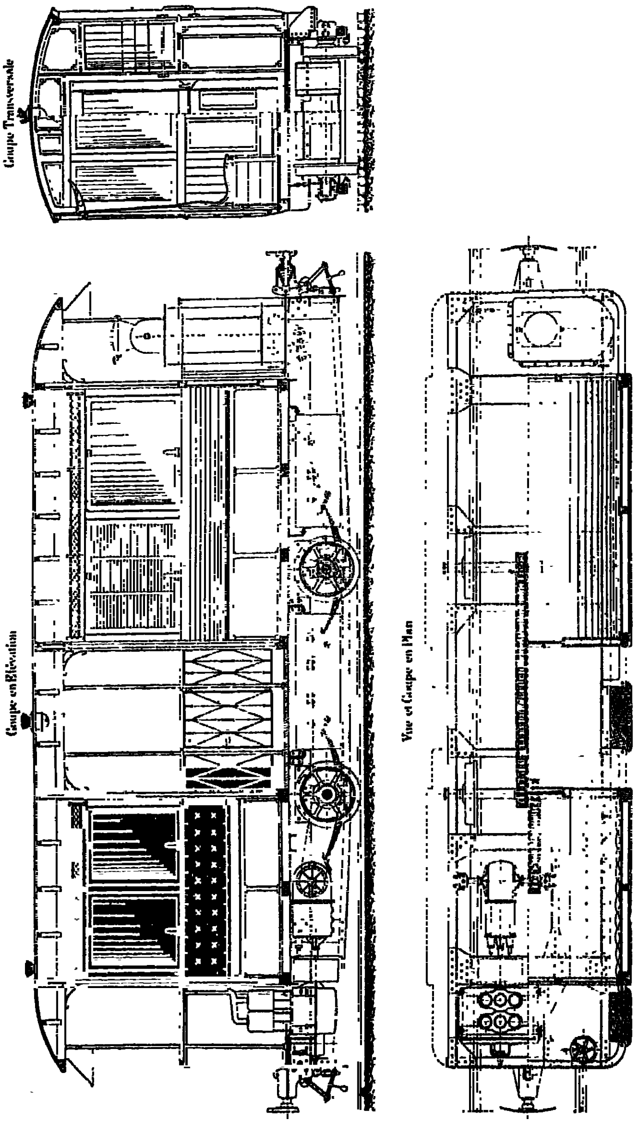


Fig. 79. — Voiture automotrice à gaz pauvre pour voie de 1 mètre (Cazes et Cie).

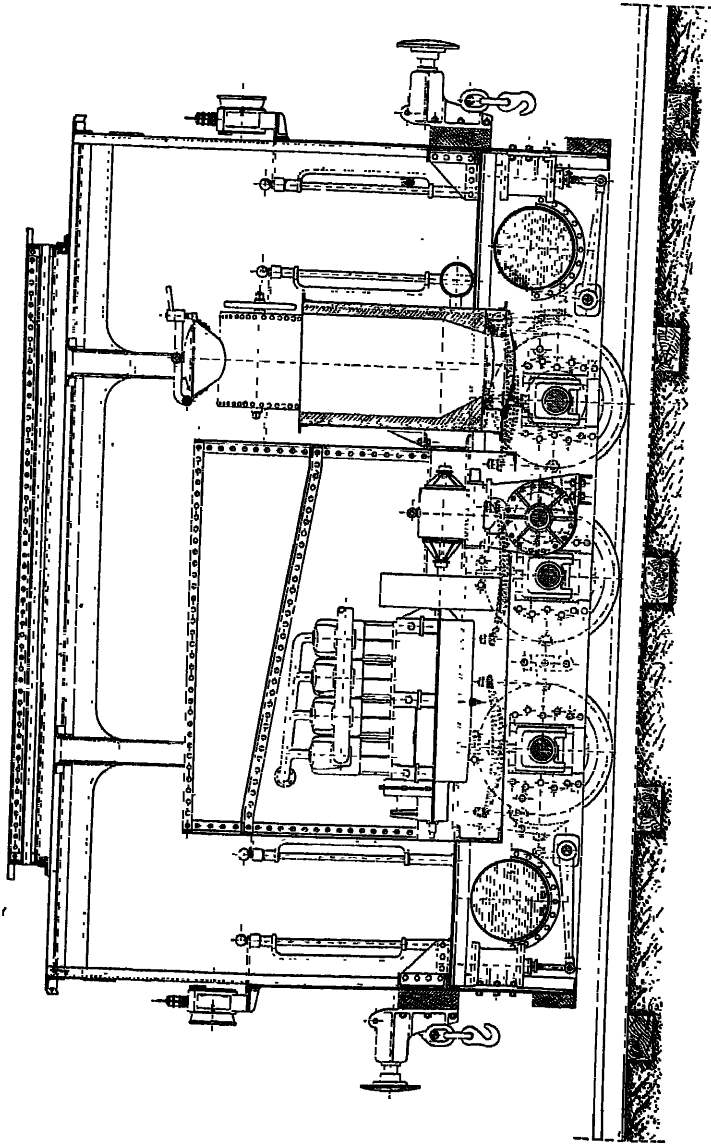


Fig. 80. — Locomotrice à gaz pauvre pour tramways (Cazes et Cie).

Dépenses des Camions

	Camion à essence	Camion à vapeur	Camion à gaz pauvre
Puissance du moteur	40 HP	25 HP	40 HP
Charge utile transportée	6.000 kilos	6.000 kilos	6.000 kilos
Vitesse moyenne en kilomètres à l'heure	10 kilomètres	10 kilomètres	10 kilomètres
Consommation par cheval-heure effectif	0 k. 300	2 kilos	0 k. 450
» aux 100 kilomètres	$0,45 \times 40 \times 10 = 120$ kilos	$2 \times 25 \times 10 = 400$ kilos	$0,45 \times 40 \times 10 = 180$ kilos
Prix du combustible dans Paris: Essence : 0,70 le litre (densité 0,720).			
Coke : 1,70 l'hectol. (» 0,400).			
Charbon de bois : 65 fr. la tonne.			
Dépense aux 100 kilomètres	$\frac{120}{0,72} \times 0,70 = 117$ francs	$\frac{1,70}{40} \times 500 = 21$ fr. 25	$180 \times 0,065 = 11$ fr. 70
Prix de la tonne kilométrique	$\frac{117}{600} = 0,195$	$\frac{21,25}{600} = 0,0355$	$\frac{11,70}{600} = 0,0195$

Dépenses :

Un homme	10 fr. »
Combustible, 100 kilos de charbon de bois à 65 francs la tonne	6 fr. 50
Huile	2 fr. »
Amortissement en sept ans, 20.000 francs	7 fr. 95
Usure, réparations, etc.	5 fr. 05
Total de la dépense journalière	31 fr. 50

Par traction animale : Chevaux. — Trois chevaux pour transporter 6 tonnes de marchandises à 20 kilomètres ; pour transporter 30 tonnes, il faudra 15 chevaux.

Dépenses :

Cinq hommes à 10 francs l'un	50 fr. »
Nourriture de quinze chevaux à 3 francs l'un	45 fr. »
Amortissement en sept ans de :	
quinze chevaux à 1.000 francs l'un = 16.500 francs ;	
cinq voitures à 1.000 francs l'une = 5.000 francs ;	
Au total : 21.500 francs. Par jour	8 fr. 55
Ferrure de quinze chevaux, 0 fr. 50 par jour l'un	7 fr. 50
Vétérinaire, usure voitures, réparations, etc.	10 fr. »
Total de la dépense journalière	121 fr. 05

Différence en faveur du camion à gaz pauvre : 121 fr. 05 moins 31 fr. 50 soit 89 fr. 55.

Dépense d'un camion automobile, avec gazogène au charbon de bois et moteur à gaz pauvre (d'après M. V. Cazes) :

Camion de 4 tonnes	2 fr. 80 à Paris
» »	2 fr. 20 en province
Camion de 6 tonnes	6 fr. » à Paris
» »	4 fr 80 en province

pour 10 heures de service.

Puissance des moteurs à gaz pauvre pour :

Camion de 3 à 4 tonnes de charge utile ou omnibus automobile pour 10 à 15 personnes : 20 chevaux.

Camion de 5 à 6 tonnes de charge utile, ou omnibus automobile de 20 à 30 personnes : 40 chevaux.

La vitesse moyenne horaire est de 15 kilomètres pour les camions et de 30 kilomètres pour les omnibus.

L'allumage du gazogène se fait au moyen d'un ventilateur à main et demande environ trois minutes. Le cendrier est accessible sur le côté du châssis : la recharge se fait sans arrêter le moteur et même pendant la marche. La dépense en eau, pour le refroidissement et pour la gazéification, est très réduite en raison

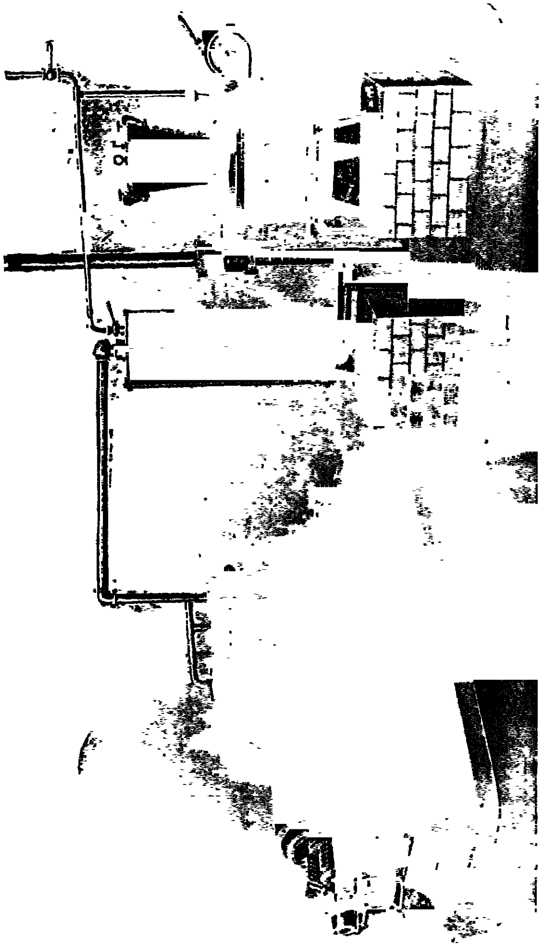


Fig. 81. — Groupe électrogène avec un petit gazogène Cazes

de dispositions spéciales brevetées. Ce gazogène est absolument inexplosible.

Les moteurs des camions Cazes sont à 4 temps à haute compression, du type automobile mais très renforcés dans toutes leurs parties ; l'allumage se fait par magnéto à rupteurs, les sou-

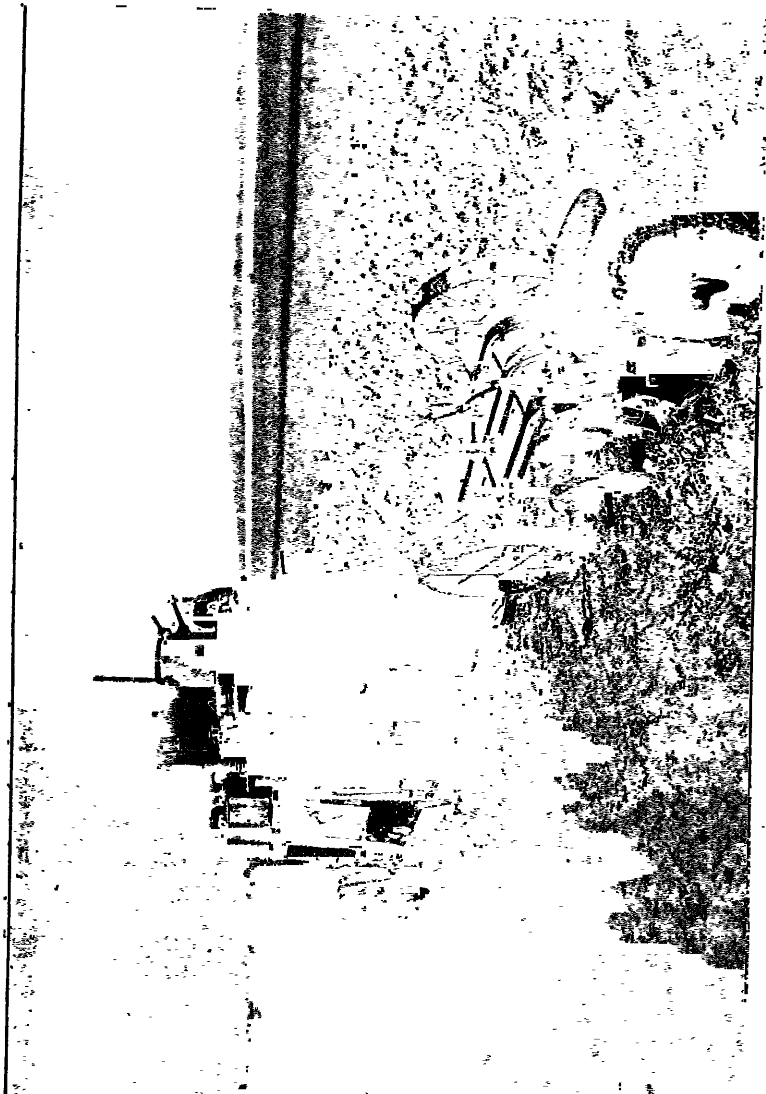


Fig. 82. — Tracteur agricole Cazos.

papes sont spécialement calculées pour l'emploi du gaz pauvre.

Ces chassis de camions conviennent aussi bien pour des omnibus à voyageurs.

Les mêmes gazogènes et moteurs sont employés pour la traction sur rails soit par locomotives soit par voitures automotrices telles que celles représentées par nos gravures ; on en construit des groupes électrogènes ; enfin ils sont appliqués aux tracteurs agricoles pour le labourage, hersage, etc. La figure 82 montre un de ces appareils en plein travail.

Tracteur agricole avec gazogène au bois. — Des essais d'un gazogène employant un mélange de bois et de charbon et qui ont donné, paraît-il, de bons résultats, ont eu lieu récemment à Vierzon.

Un rapport en fut fait au ministère de l'Agriculture, le 21 décembre 1921. Les dites expériences ont consisté dans l'essai d'un gazogène, contenant non plus du charbon de bois et de l'eau ainsi que l'avaient expérimenté précédemment la Coopérative agricole d'Issoudun, mais du bois. Les conclusions du rapport sus-visé peuvent se résumer comme suit : le gazogène expérimenté est dès à présent utilisable. Les tracteurs auxquels il serait appliqué peuvent travailler, soit à l'essence seule, soit au gaz et à l'essence, soit au gaz seul. Le gazogène à bois supprime l'intervention de l'eau, nécessaire pour l'emploi du gazogène à charbon de bois ; on peut employer des ramilles et sarments de vigne, rarement utilisés. D'autre part, il travaille à un prix inférieur à celui de toutes les sources d'énergie. Pour un travail effectué sur 5 kilomètres et un chargement de 2.070 à 2.600 kilogrammes, le prix de revient varie de 5 fr. 75 à 6 fr. 25 pour appareil à gazogène contre 27 fr. 70 avec l'emploi de l'essence.

(Journal *Le Bois* du 6 avril 1922).

CHAPITRE VI

LE GAZ PAUVRE
ET LA PROPULSION DES BATEAUX

Le gazogène tient moins de place et ne pèse pas plus lourd qu'une chaudière à vapeur, et, avec la même provision de charbon, il permet de faire trois ou quatre fois plus de chemin ; il était donc tout naturel de songer à l'appliquer à la propulsion des bateaux, d'autant plus qu'ici nous avons l'eau en abondance pour l'alimentation des scrubbers.

Des moteurs spéciaux ont été créés pour l'emploi du gaz pauvre à bord des bateaux et navires, par Thornicroft, Capitaine et, plus récemment, par M. Cazes à Courbevoie et par les usines Bächtold en Suisse, dont le représentant à Paris est M. Gabriel Martin. Nous devons à ces messieurs de très intéressants documents sur cette question.

Les moteurs, du type *marin*, à 1, 2, 3 ou 4 cylindres verticaux, se font dans toutes les forces jusqu'à 40 chevaux et peuvent s'installer sur des péniches, remorqueurs, bateaux de pêche ou de plaisance ; les gazogènes sont du type industriel par aspiration.

Le moteur commande à une hélice *à ailes réversibles* ou bien une hélice ordinaire avec un débrayage et un changement de marche, comme dans tous les bateaux mus par moteurs à gaz ou à pétrole.

Un moteur de 30 à 40 chevaux suffit pour donner à une péniche de 250 à 300 tonnes de charge utile une vitesse de 5 kilomètres à l'heure, ce qui représente 3 à 4 kilog. de charbon par kilomètre parcouru (Bächtold). En admettant du charbon à

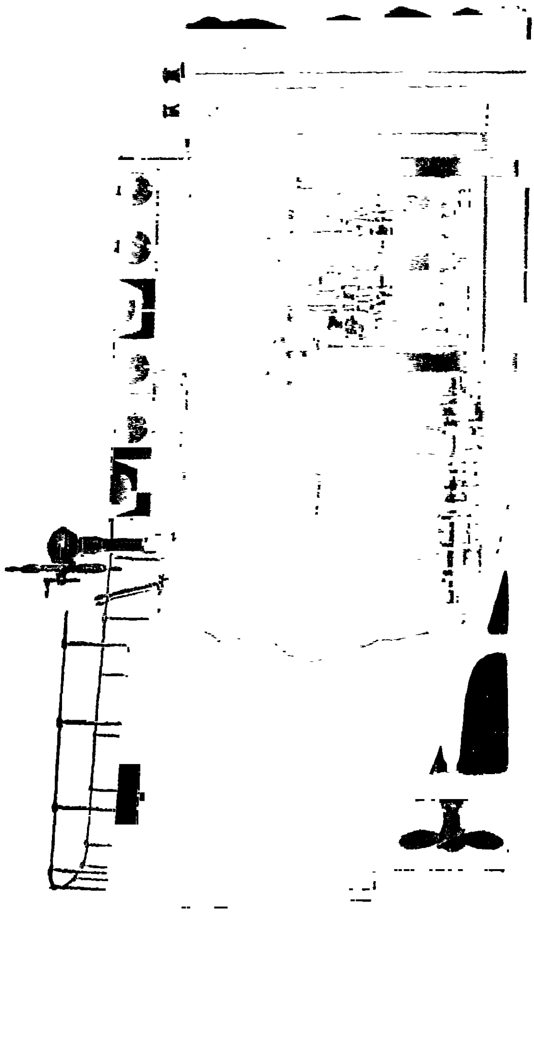


Fig. 83.
Aménagement de la machinerie d'une péniche avec moteur et gazogène Bachtold (G. Martin et Cie).

28 francs la tonne, on obtient le prix extrêmement réduit de $0^{fr},004$ par tonne kilométrique (fig. 83).

Le moteur et le gazogène peuvent être entretenus et conduits par des mariniers sans instruction technique spéciale. Il ne faut donc imputer le retard de notre industrie sous le rapport de cette application du moteur à gaz pauvre qu'à l'ignorance ou à l'indolence de nos armateurs de terre et de mer.

CHAPITRE VII

—

LOCOMOBILES AU GAZ PAUVRE

Ces machines peuvent exactement remplacer les anciennes locomobiles à vapeur employées pour le battage, dans les scieries, par les forains et un grand nombre d'exploitations industrielles.

Elles consomment moins de combustibles que celles à vapeur et ne présentent pas autant de risques d'incendie.

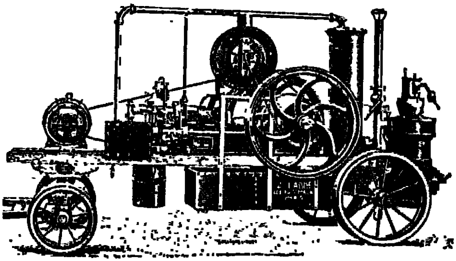
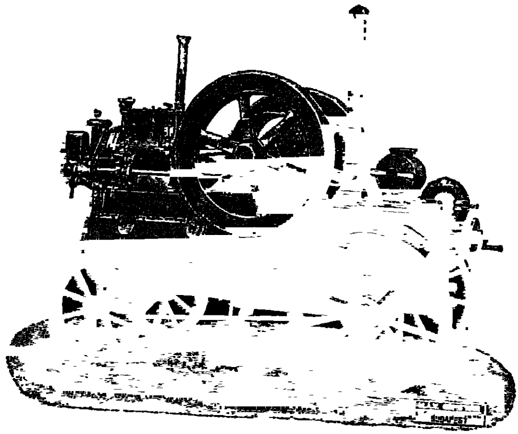


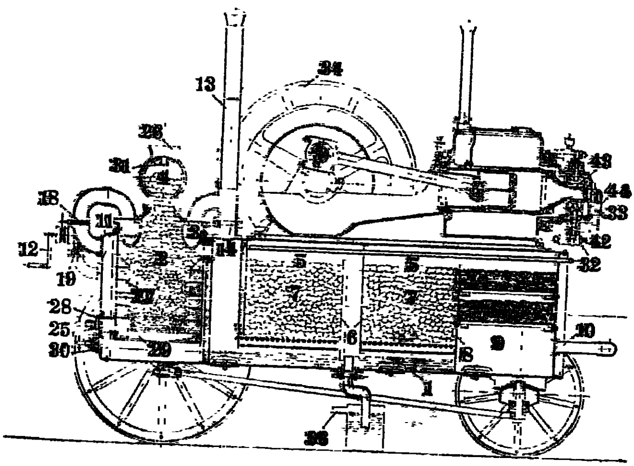
Fig. 84

La figure 84 montre une locomobile au gaz pauvre construite par M. Labbé à Paris. Le gazogène est du type ordinaire avec scrubber vertical.

Les figures 85 et 86 représentent une locomobile à gaz pauvre construite en Hongrie, elle a tout à fait l'apparence d'une locomobile à vapeur; on y voit en 2 le gazogène, 12 le ventilateur de mise en marche, 5-7 le scrubber, 9 un épurateur de gaz. Le moteur est au-dessus.

Nous avons tenu à mentionner tous ces empiétements du gaz

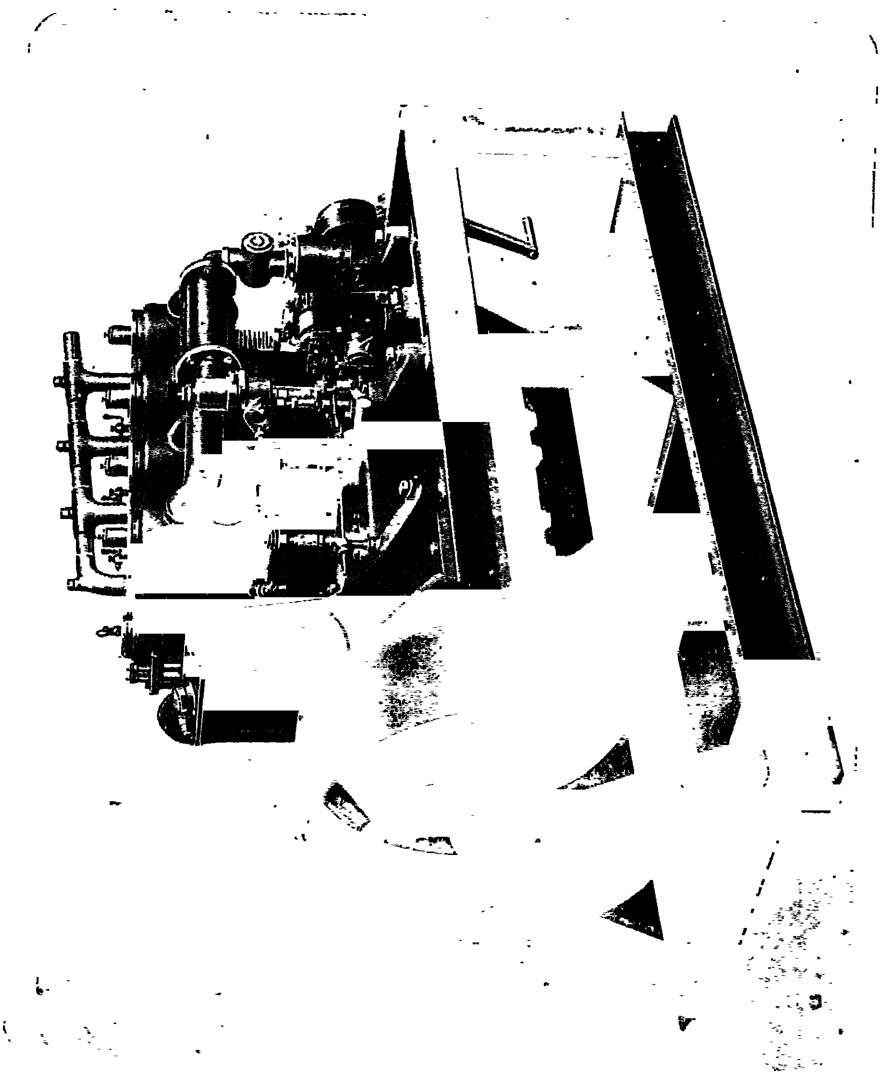




Coupe de la Locomobile à gaz pauvre

Fig. 85 et 86.

pauvre sur la vapeur et le pétrole; grâce à l'économie qu'il procure, le gaz pauvre finira bien par les remplacer un peu partout.



MOTEUR INDUSTRIEL CAZES, AU GAZ PAUVRE

CINQUIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CHAUFFAGE INDUSTRIEL PAR LE GAZ PAUVRE

On peut toujours, au moyen d'un dispositif très simple, produire le gaz pauvre sous pression, ce qui permet de le distribuer à une distance quelconque, par de simples tuyaux de fer ou de fonte et de l'utiliser à divers chauffages industriels en même temps qu'à la force motrice.

Les applications du gaz pauvre au gaz industriel sont nombreuses.

Le gaz d'éclairage est avantageusement remplacé par le gaz pauvre dans toutes ses applications, sauf l'éclairage direct, et on le substitue presque toujours, avec de grands avantages, au charbon, au coke ou au bois.

Le prix de revient du gaz est minime. Le mètre cube de 1.250 calories coûte environ 0c,8 (charbon à 32 francs la tonne), mais comme il ne renferme qu'un quart environ du calorique du gaz d'éclairage, il faut multiplier ce chiffre par 4 pour la comparaison. Il revient donc à moins de 1/6 du prix du gaz d'éclairage, compté à 20 centimes.

Ces chiffres sont donnés pour la région de Paris. Dans le nord de la France, le gaz d'éclairage est moins cher, mais le prix du charbon est également plus bas. La proportion reste sensiblement la même.

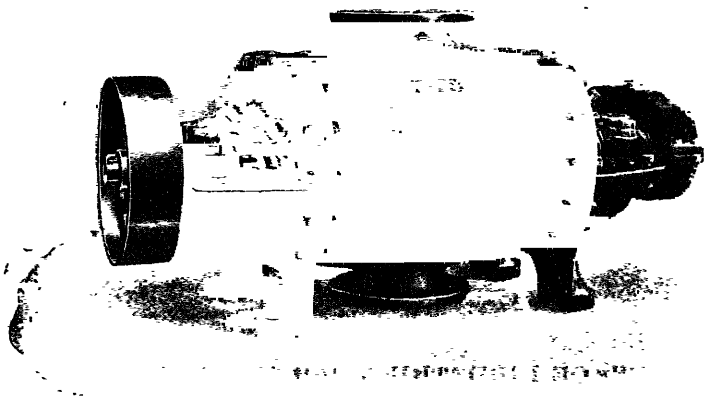


Fig. 87. — Régulateur de pression ou surpresseur rotatif (*Ignis*).

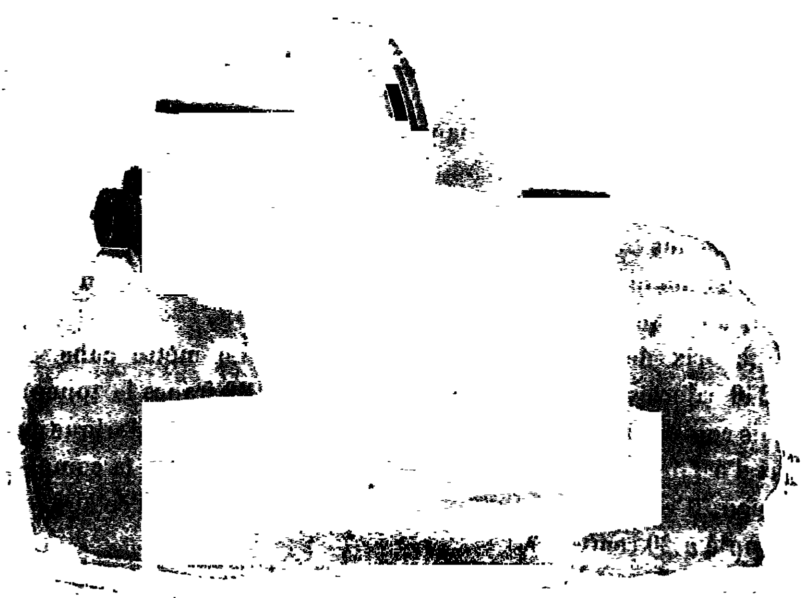


Fig. 88. — Extracteur centrifuge à injection d'eau (*Ignis*).

Une installation de chauffage au gaz pauvre se compose essentiellement du *gazogène*, d'un *extracteur* et d'un *régulateur de pression*. L'extracteur, suivant les cas, est centrifuge ou rotatif. L'extracteur centrifuge sert surtout à nettoyer le gaz par injection d'eau. Dans les installations employant des houilles anthraciteuses, et où il est indispensable d'obtenir un gaz absolument propre et à haute pression, l'extracteur centrifuge sert à nettoyer le gaz et le rotatif à le surpresser.

Entre ces deux appareils est intercalé un épurateur sec à grande section, soit simplement mécanique, soit mécanique et chimique.

Dans certains cas, et chaque fois que la pression du gaz doit être rigoureusement constante, on ajoute à l'installation une petite cloche régulatrice.

Le chauffage des fours au gaz pauvre permet d'atteindre des températures de plus en plus élevées avec une rapidité impossible à réaliser avec les combustibles solides. Dans un four destiné au traitement de produits chimiques, on a atteint récemment une température dépassant 1.500 centigrades.

Le champ d'applications s'élargit donc singulièrement.

Les avantages du chauffage au gaz, comparé au charbon sont les suivants :

1° Presque toujours économie très importante sur le combustible et sur la main-d'œuvre, par ce fait qu'il n'y a qu'un seul foyer à charger et à surveiller pour alimenter toute une usine ;

2° Température élevée obtenue plus rapidement ;

3° Régularité absolue de la température ;

4° Possibilité de régler instantanément, par un simple robinet, la température du four ou des produits chauffés ;

5° Possibilité d'obtenir une flamme réductrice ou oxydante au choix ;

6° Conduite des fours simplifiée ; absence de charbon près des fours ;

7° Entretien moindre au foyer du four, celui-ci n'étant jamais exposé aux températures élevées résultant de la combustion du charbon (coup de feu). De plus, les variations brusques de tem-

pérature, par suite de l'introduction d'air frais, n'existent plus, les foyers restant toujours clos.

Il existe un grand nombre d'installations où le gaz est ainsi appliqué au chauffage industriel.

Le gaz pauvre est employé avantageusement dans les cas suivants :

Chalumeaux à souder et à braser au cuivre.

Soudure à l'étain.

Fours à réchauffer et à tremper.

Fours à recuire les métaux. Fonderie des caractères d'imprimerie.

Fours de cémentation. Fours pour la fabrication des produits chimiques.

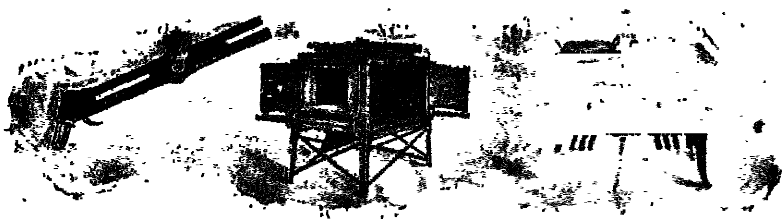


Fig. 89. — Chalumeau et fours pour l'emploi du gaz pauvre.

Fours de boulangerie.

Fours à plâtre, à chaux et ciments. Fours de verrerie. Fours céramiques.

Fusion de certains alliages.

Flambage des tissus, gazage des fils.

Chauffage des cylindres à moirer.

Etuvage, cintrage et séchage des bois. Séchage des moules.

Chauffage d'ateliers.

Le gaz pauvre pour chauffages industriels est généralement employé sans lavage ni épuration ; cependant, si les conduites de gaz et les brûleurs sont de faibles dimensions, il est préférable d'épurer le gaz à sa sortie du gazogène.

Le gaz pauvre peut être employé au chauffage des locaux industriels, dans les mêmes conditions que le gaz de ville, en obser-

vant les mêmes précautions pour la ventilation et l'évacuation des produits de la combustion.

Dans ces installations le gazomètre est inutile dans beaucoup de cas et la pression est alors donnée au gaz par un ventilateur aspirant dans la cuve du gazogène et refoulant dans les tuyauteries distributrices du gaz. Dans les gazogènes soufflés la pression du gaz existe par le fait même du soufflage de l'appareil.

Les chalumeaux et becs-brûleurs employant le gaz pauvre doivent avoir des orifices de gaz plus grands que ceux destinés au gaz de ville, ou bien il faut augmenter la pression du gaz pauvre pour augmenter son débit aux brûleurs du type ordinaire. Ceci en raison de la quantité d'air assez faible qu'il faut pour brûler le gaz pauvre (environ 1 volume à 1 volume $\frac{1}{2}$ d'air pour 1 volume de gaz pauvre).

En ce qui concerne les brûleurs, on a adopté communément les brûleurs genre Bunsen en agrandissant simplement le trou de l'injecteur à gaz.

Ces becs ont de multiples inconvénients. Ils sont généralement construits en laiton, c'est-à-dire trop fragiles pour être employés dans les fours industriels. Leur corps et même l'injecteur sont portés à une haute température, et, dans ces conditions, il est très difficile d'empêcher le gaz de s'enflammer dans le corps du brûleur. Quant aux toiles ou grilles métalliques, elles sont d'un effet certain, mais absolument inacceptables dans des brûleurs de fours à grand débit et à large section. Leur durée est très courte et de plus elles se bouchent très vite, soit par les impuretés que le gaz peut contenir, soit par celles contenues dans l'air aspiré par l'injecteur. Il faut donc absolument renoncer aux toiles métalliques, et le brûleur doit pouvoir fonctionner normalement sans cet organe, tout en utilisant au maximum les calories contenues dans le gaz.

La plupart des brûleurs existant ont le défaut d'être fragiles, et, de plus, ils utilisent mal le gaz.

En effet, dans un brûleur Bunsen, le gaz s'allume d'abord à la périphérie du bec et la flamme progresse de l'extérieur vers le

centre. On peut vérifier ce phénomène en observant la flamme d'un bec Bunsen à gaz de ville. Il se forme un cône bleu, dont les génératrices sont les résultantes des deux vitesses : 1° d'inflammation (vitesse horizontale), 2° de sortie du mélange. La vitesse de propagation de la flamme étant constante pour une richesse de mélange donnée, plus la vitesse de sortie du mélange est grande et plus le cône est élevé. Or, à l'intérieur de ce cône, la température est très basse ; elle n'est maximum qu'à son sommet. Il en résulte donc une grande quantité de chaleur perdue par rayonnement, depuis l'orifice du brûleur jusqu'au sommet du cône.

On conçoit qu'avec le gaz pauvre, le cône sera forcément très élevé, la vitesse de sortie étant généralement très grande et la vitesse de propagation de la flamme assez faible.

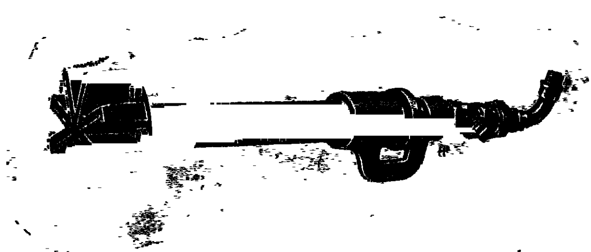


Fig. 90. — Brûleur Ignis.

Pour éviter cet inconvénient, on place au sommet des becs Bunsen, une toile ou grille métallique dont chaque maille constitue un brûleur de façon à multiplier les points d'ignition et à avoir une série de petits cônes peu élevés. Malheureusement, ainsi que nous l'avons déjà dit, ces toiles sont fragiles et, dans des fours industriels, il ne faut pas penser à s'en servir.

Le brûleur doit donc multiplier les points d'ignition comme c'est le cas dans la figure ci-dessus, chacune des branches constituant un brûleur séparé dont le cône bleu est très peu élevé. Il s'ensuit que le maximum de température est obtenu immédiatement au-dessus du brûleur et sans déperdition de chaleur (fig. 90).

CHAPITRE II

ÉCLAIRAGE PAR LE GAZ PAUVRE

Les gaz de gazogène n'ont aucun pouvoir éclairant, mais leur flamme est très chaude en raison de la grande proportion d'hydrogène qu'ils contiennent. Ces gaz, et spécialement le gaz à l'eau, peuvent donc s'employer pour l'éclairage par incandescence Auer en modifiant le réglage des becs de façon qu'ils admettent une quantité d'air plus réduite que pour l'emploi du gaz de ville.

Pour donner aux gaz pauvres un pouvoir éclairant, il suffit de les enrichir en les faisant barboter dans du benzol ou autre hydrocarbure ; le gaz pauvre entraîne une certaine quantité de vapeurs d'hydrocarbures qui lui communiquent leurs qualités d'éclairage.

Un autre procédé consiste à faire passer les gaz pauvres dans les cornues où se distille la houille pour faire le gaz de ville ; on obtient ainsi au sortir des cornues un mélange de gaz pauvre et de gaz de houille qui revient beaucoup moins cher que le gaz de houille et possède à peu près les mêmes qualités éclairantes et calorifiques.

Enfin on a proposé de mélanger le gaz pauvre avec de l'acétylène.

Les raisons qui ont empèché l'emploi des gaz pauvres de se généraliser en France, pour l'éclairage et le chauffage, résident dans l'interdiction faite par le Conseil d'hygiène qui a estimé que l'aération des maisons françaises était insuffisante pour permettre l'usage d'un gaz contenant de très fortes proportions d'oxyde de carbone toxique et inodore.

Ces raisons n'ont rien à voir dans des installations privées où

l'on peut faire usage du gaz pauvre à condition d'avoir des canalisations parfaitement étanches et surveillées sous le rapport des pertes possibles de gaz.

Actuellement (en 1922) la Société du gaz de Paris fournit à ses abonnés un mélange de gaz de houille et de gaz à l'eau qui procure une économie considérable comparativement au gaz de houille pur.

TABLE DES MATIÈRES

QUATRIÈME PARTIE

La force motrice par le gaz pauvre

CINQUIÈME PARTIE

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE.